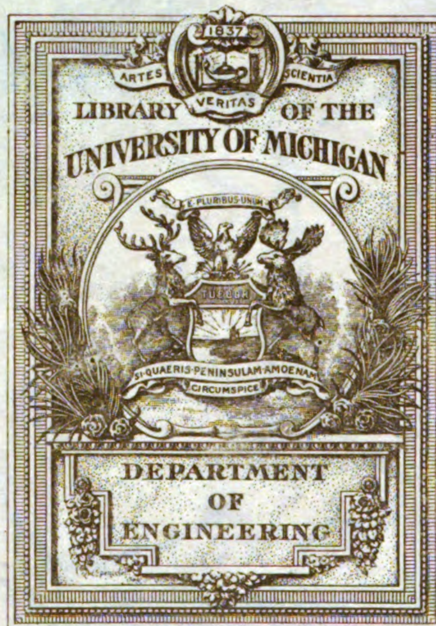
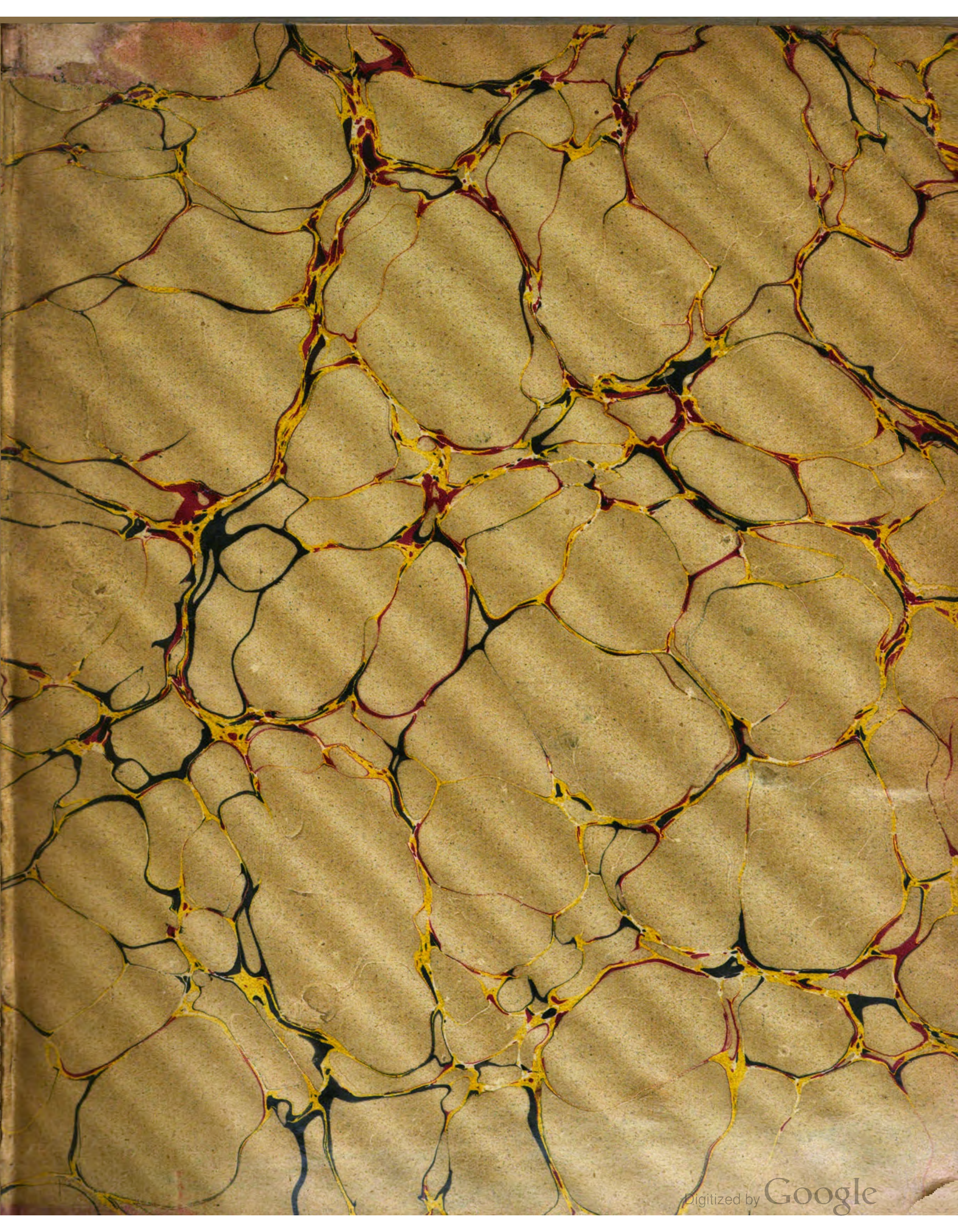
N° DE L'ESSAI	DISTANCE du balai θ au balai —	COURANT EN ampères		TENSION EN volts		CHARGES EN watts		PERTES D'ÉNERGIE en watts y compris l'excitation	PERTES dans le cuivre induit en watts		PERTES TOTALES en watts calculées		PERTES TOTALES en watts observées	RENDEMENT OBSERVÉ en p. 100	TOURS PAR MINUTE	ÉTINCELLES
		i_1	i_2	e_1	e_2	A_1	A_2		$a'k$	$a''k$	a'	a''	$a = A_1 - A_2$			
1	34°,7 $x = 0,0185\ \Omega$	58,2	99,0	134,0	49,7	7,800	4,920	2 640	85	110	2 725	2 750	2 880	63,0	854	0
2		131,0	296,0	125,0	44,0	6,390	13,000	2 400	760	1 010	3 160	3 410	3 390	79,4	833	1
3		194,0	468,0	118,0	39,0	22,900	18,250	2 240	1 870	2 420	4 110	4 660	4 650	79,7	823	2 — 3
4	37°,9 $x = 0,0202\ \Omega$	45,0	58,4	135,0	56,6	6,100	3,300	2 690	35	45	2 725	2 735	2 800	54,1	865	0
5		119,0	238,5	126,8	50,4	15,100	12,000	2 430	500	670	2 930	3 100	3 100	79,5	840	1
6		158,8	334,2	122,0	48,1	19,370	15,700	2 320	985	1 310	3 305	3 630	3 670	81,1	830	2
7		129,0	262.0	125,6	50,7	16,200	13,280	2 400	605	810	3 005	3 210	2 920	82,0	834	0
8		161,:	340,0	121.9	47,0	19,630	16,300	2 320	1 015	1 355	3 335	3 675	3 330	83,0	831	0 — 1
9		209,1	450,6	116,4	44,1	24,360	19,860	2 210	1 785	2 375	3 995	4 585	4 500	81,5	827	1
10	41°,0 $x = 0,0219\ \Omega$	145,1	270,0	124,0	54,0	18,000	14,570	2 370	645	860	3 015	3 230	3 430	81,0	830	1
11		177,7	342,0	120,0	51,5	21,300	17,600	2 280	1 025	1 275	3 105	3 550	3 700	82,6	820	2
12		183,5	354,3	119,0	50,8	21,820	18,000	2 240	1 110	1 485	3 350	3 725	3 820	82,5	814	2 — 3
13	44°,2 $x = 0,0236\ \Omega$	115,5	190,0	127,0	62,5	14,680	11,870	2 440	330	440	2 770	2 880	2 810	80,8	836	0
14		153,6	167,5	122,8	59,1	18,850	15,800	2 330	750	965	3 080	3 295	3 050	83,8	821	1
15		208,5	378,3	116,0	54,4	24,200	20,550	2 180	1 290	1 720	3 470	3 900	3 650	85,0	808	1 — 2
16		210,5	377,0	115,0	55,0	24,200	20,750	2 140	1 300	1 730	3 440	3 870	3 450	85.8	791	1
17	47°,4 $x = 0,0253\ \Omega$	70,8	93,0	132,2	70,5	93,370	6,560	2 560	80	110	2 640	2 670	2 810	70,0	820	0
18		208,9	352,5	116,1	58,1	24,250	20,450	2 180	1 130	1 500	8 310	8 680	3 800	84,3	800	2 — 3
	Charge du pont o +															
19	44°,2 $x = 0,0244\ \Omega$	106,1	168,0	128,0	60,1	13,600	10,100	2 400	260	345	2 660	2 745	3 500	74,3	770	2
20		168,9	300,0	120,8	54,3	20,400	16,300	2 170	815	1 085	2 985	3 255	4 100	80,0	705	3
21		192,1	344,5	117,9	52,9	22,650	18,200	2 100	1 065	1 420	3 165	5 520	4 450	80,4	683	4 — 5

La Lumière électrique


ARTES
1837
SCIENTIA
LIBRARY
VERITAS
OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
E PLURIBUS UNUM
SI QUAERIS PENINSULAM AMOENAM
CIRCUMSPICE
DEPARTMENT
OF
ENGINEERING



L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

TOME XXIV

3e TRIMESTRE 1900

PARIS

GEORGES CARRÉ ET C. NAUD, ÉDITEURS

3, RUE RACINE, 3

Tome XXIV. Samedi 7 Juillet 1900. 7e Année. — N° 27

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

L'EXPOSITION UNIVERSELLE

BLOCK-SYSTÈME ÉLECTRIQUE KRIZIK [1]

Les exigences d'un trafic intense obligent à laisser entre les trains de chemin de fer de courts intervalles, et toute gare doit pouvoir expédier un train sans attendre que le précédent ait atteint la gare voisine. Afin de remplir cette condition en assurant la sécurité des voyageurs, les exploitants ont été amenés à généraliser l'emploi de « Block-systèmes ». M. Krizik a étudié un appareillage tout nouveau, affranchi de la commande à distance par leviers et caractérisé par l'emploi d'électromoteurs à changement de marche, et, par suite, d'assez grandes intensités de courant. Pour diminuer le danger qui, dans la transmission des signaux, est inhérent aux imperfections de la nature humaine, il s'est attaché à réduire le travail du stationnaire, qui peut, dès lors, concentrer son attention sur le passage des trains. Les signaux sont faits automatiquement par le train lui-même, mais leurs différentes phases se succèdent dans un ordre précis, se produisent une seule fois et, si l'on veut, avec la coopération du stationnaire.

L'emploi d'assez grandes intensités de courant est justifié par des considérations d'économie et aussi par cette raison qu'une seule source permet d'assurer le fonctionnement d'un certain nombre d'appareils.

Pour la communication des signaux de block par le système Krizik, il faut installer pour la voie montante et pour la voie descendante les appareils suivants :

I. — Un *sémaphore* communiquant les signaux au personnel des trains : cet appareil est mû électriquement. Il est pourvu des organes de distribution de courant et comporte

[1] Exposé par Fr. Krizik, de Prague, à la section autrichienne d'électricité, premier étage du Palais de l'Électricité.

l'armement ordinaire (mâts de signal, signal d'alarme, lanternes à verres de couleur, etc...), il est, comme d'usage, monté près de la voie, de façon à être aperçu du plus loin possible par les trains qui s'en approchent.

II. — Un *appareil de block*, muni d'un petit disque de contrôle apparaissant tantôt blanc, tantôt rouge, d'un bouton Arrêt (1) fermé normalement et d'un bouton Voie libre (2), tous les deux à la portée de la main du stationnaire, enfin d'un appareil qui établit automatiquement les différents circuits.

III. — Un *contact de voie* disposé de telle façon que le plus long train puisse trouver place entre ce contact et le sémaphore correspondant.

IV. — Une *batterie d'accumulateurs* servant à assurer la marche de l'appareil de gare et aussi celle de la moitié des appareils de section situés de part et d'autre.

V. — Un petit *signal à main* ou signal de « coopération » du stationnaire.

VI. — Un *wagonnet*, portant un moteur et une dynamo. Le moteur sert à la traction du wagonnet d'une gare à l'autre, puis à actionner la dynamo pour la charge des accumulateurs.

VII. — Les lignes qui relient les appareils (3).

---

(1) Marqué *Halt* sur la figure 8.

(2) Marqué *Frei* sur la figure 8.

(3) Mon ami P. Diény a analysé dans ce journal, d'après une communication faite au Congrès de Vienne (*L'Écl. Élect.*, t. XXII, p. 421) une première réalisation des appareils de M. Krizik. Le lecteur trouvera ici la description d'un exemple plus perfectionné, présenté par M. Krizik à l'Exposition Universelle (classe 27).

Afin de permettre de mieux apprécier les mérites du système et de suivre les expériences, nous croyons intéressant d'indiquer, avant toute description des appareils, les phases successives de leur fonctionnement (dans la figure les lettres capitales correspondent aux sémaphores, les italiques aux appareils de block, les lettres grecques aux appareils à main).

Position normale : Tous les voyants sont *blancs*, le sémaphore B (fig. 1) de la gare expéditrice, et le sémaphore E de la gare réceptrice sont à l'*arrêt*: les sémaphores de section C et D à *voie libre*. Les sémaphores de la gare expéditrice et de section (B, C, D) n'ont pas de bouton de débloquage (les boutons de débloquage (*Frei*) sont marqués 1 et les boutons de bloquage (*Halt*) sont marqués 2).

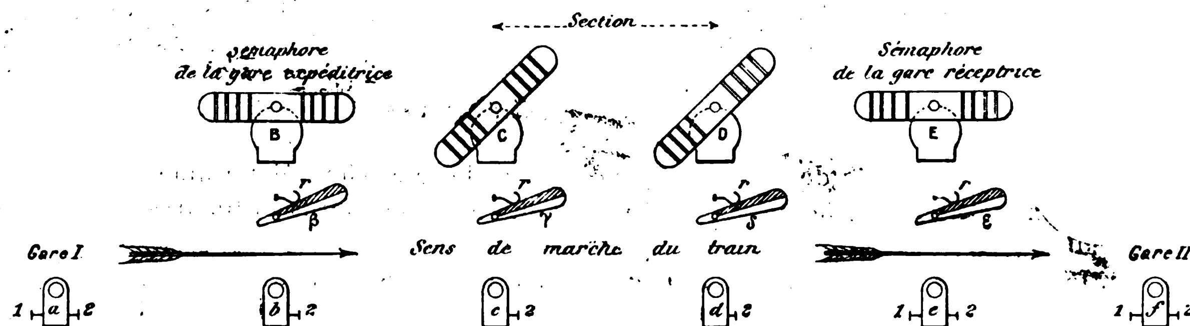


Fig. 1. — Fonctionnement du block-système Krizik.

1° *Un train est en partance dans la gare I.* Le chef de gare appuie sur le bouton 1 de *a* pour mettre B à *voie libre*. Tant que le train n'a pas dépassé le contact de voie, le voyant *a* reste blanc et le chef de la gare I peut arrêter le train en mettant B à l'arrêt à l'aide du bouton 2 de *a*.

2° *Le train passe sur le premier contact de voie :* le voyant *b* devient *rouge*, le sémaphore B se met à l'*arrêt*, le voyant *a* devient *rouge*, puis le voyant *b* devient *blanc*. Le train est couvert par le sémaphore B, mais le voyant *a* étant rouge, la gare ne peut agir sur B, car le circuit est ouvert.

3° *Le train entre dans la première section :* le voyant *c* devient *rouge*, le sémaphore C se met à l'*arrêt*, les

I. Sémaphore électrique.— On peut se servir de tout sémaphore de type courant : on relie le levier mû électriquement aux fils, tiges ou chaînes de commande du bras.

L'équipement se compose, en principe, d'un moteur à changement de marche dont le

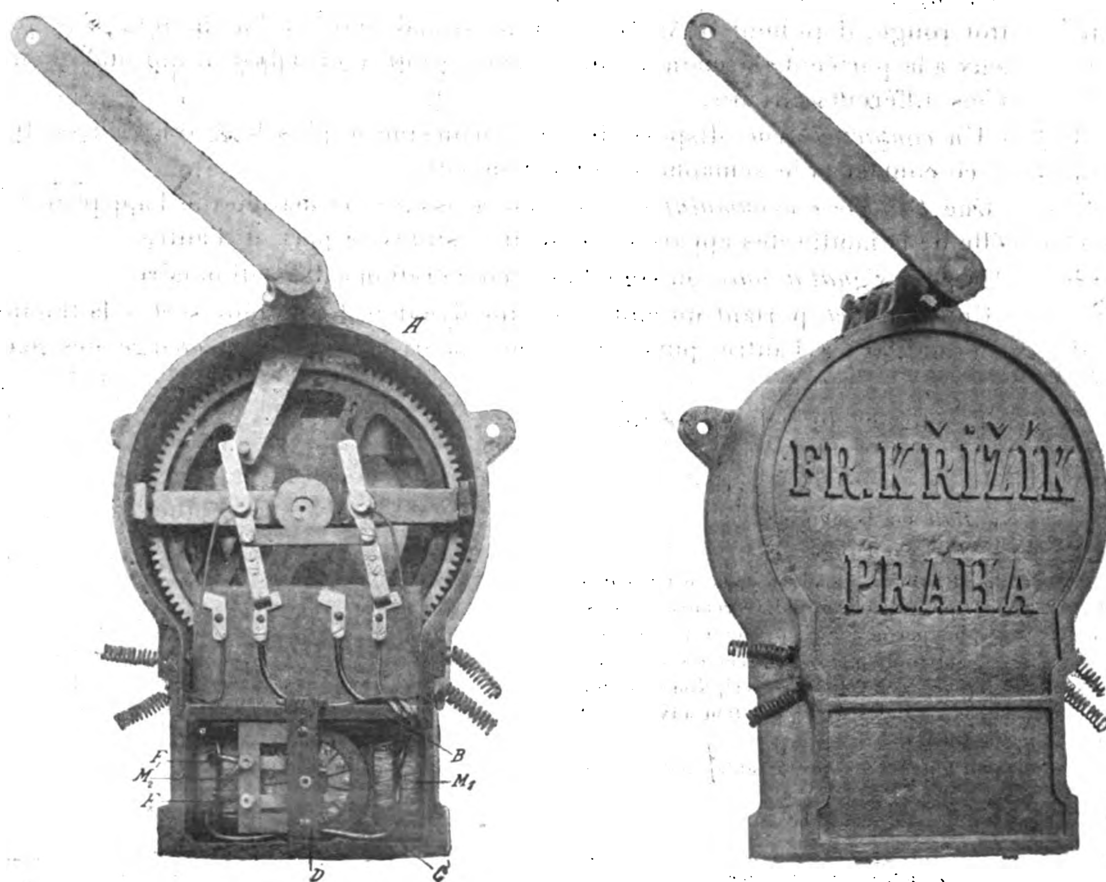


Fig. 2. — Sémaphore Krizik.

mouvement de rotation, transformé en mouvement de va et vient, détermine l'élévation ou l'abaisssement du bras sémaphorique à l'aide des intermédiaires ordinaires. Les équipe-

---

voyants *a* et *c* deviennent successivement *blancs :* la gare I peut donc maintenant mettre le sémaphore B dans l'une ou l'autre position.

4° *Le train entre dans la seconde section :* le voyant *d* devient *rouge*, le sémaphore D se met à l'*arrêt :* le sémaphore C se met à *voie libre*, le voyant *d* redevient *blanc*.

5° *Le train s'approche du sémaphore E de la gare d'arrivée*, il ne peut le dépasser que lorsque le chef de la gare II a appuyé sur le bouton 1 de l'appareil *f* et mis ainsi le sémaphore E à *voie libre*. Le stationnaire du poste E peut toujours annuler ce signal et remettre le sémaphore E à l'*arrêt* en appuyant sur le bouton 2 de l'appareil *e*, mais dans ce cas il ne peut plus débloquer la section en remettant le sémaphore D à voie libre. Ceci ne devient possible que quand le train, après nouvelle mise à voie libre du sémaphore E, par le chef de gare II, est entré dans cette gare, a fait apparaître le voyant *rouge* à l'appareil *e* et remis le sémaphore E à l'*arrêt*. Si le stationnaire appuie sur le bouton 1 de l'appareil *e*, il met à voie libre le sémaphore D, et le voyant de l'appareil *e* redevient blanc.

Le voyant de l'appareil *f* correspond avec le sémaphore E, il est *rouge* quand E est à l'*arrêt* et *blanc* quand E est à *voie libre*.

Signaux faits automatiquement avec coopération des stationnaires. Tout se passe comme dans le cas précédent, mais lorsqu'un train est annoncé, chaque stationnaire doit donner la voie libre à l'aide du petit signal à main (β, γ, δ, ε), faute de quoi aucun appareil ne fonctionnerait.

ments électriques usités jusqu'ici nécessitent l'emploi de poids ou de ressorts; ils doivent être manœuvrés avec le plus grand soin : il faut un courant constant pour leur fonctionnement régulier, et leur emploi entraîne bien des erreurs dans la transmission des signaux. Au contraire avec l'électromoteur Krizik, on simplifie les appareils, tout en gagnant en sécurité : les variations d'intensité du courant d'alimentation n'influent guère que sur la vitesse, et le service n'en souffre pas puisque le circuit reste fermé tant que l'appareil n'a pas accompli son changement de position.

L'appareillage du sémaphore comprend (fig. 2): une caisse en fonte A, hermétiquement close, et séparée en deux par une cloison horizontale B; dans la case parallélipipédique inférieure est placé le moteur électrique à changement de marche, dans l'espace cylindrique supérieur, le train d'engrenages et le commutateur à deux directions : on y ajoute souvent l'appareil à boutons. L'électromoteur est tétrapolaire, avec deux bobines inductrices seulement M_1 et M_2; l'arbre de l'induit C est supporté par la cloison arrière de la caisse et, en avant, par un étrier rapporté D; il porte à son extrémité arrière, le pignon de la première paire d'engrenages, et à sa partie antérieure un collecteur plan, auquel les conducteurs isolés F_1 et F_2 amènent le courant. Le moteur ne fonctionnant que quelques secondes, on n'a guère à craindre d'échauffement nuisible : aussi l'induit est-il formé d'un cylindre massif en acier, pourvu des encoches nécessaires pour l'enroulement. Tous les conducteurs sont isolés avec soin et protégés de telle sorte que, si le moteur doit fonctionner à l'extérieur, l'humidité qui se dépose par suite des changements de température, ne nuise pas au bon fonctionnement.

Le changement de sens de rotation s'obtient d'une des façons suivantes : on peut munir l'inducteur de deux enroulements opposés l'un à l'autre et envoyer le courant dans l'un d'eux pour commander arrêt et dans l'autre pour donner voie libre, le courant passant d'abord dans l'enroulement inducteur, puis dans l'induit. On peut aussi ne mettre qu'un seul enroulement sur l'inducteur et faire passer le courant, pour un certain sens de marche, à travers les inducteurs, puis à travers l'induit (fonctionnement comme moteur série). Pour l'autre sens de marche, on sépare le courant entre les inducteurs et l'induit ; le retour se fait par la terre ou un fil spécial (fonctionnement comme moteur shunt). Dans ce cas, on peut, si on le désire, régler la marche en insérant dans le circuit une résistance R. Les figures 3 et 4 représentent ces deux montages. M_1 et M_2 sont les enroulements inducteurs, bobines en sens inverse. D_1 et D_2, les induits, I_1 et I_2, les commutateurs, dont l'action se comprend facilement d'après ce qui précède.

Pour commander le bras sémaphorique, on utilise le mouvement de rotation rapide de l'induit, après réduction par un train d'engrenages et transformation en mouvement de va et vient, dont l'amplitude est exactement limitée.

Cette transformation et cette limitation sont obtenues à l'aide de la manivelle M, fixée sur l'axe O_2 de la dernière et plus grande roue d'engrenages R (fig. 5), et d'un levier à deux branches dont la branche B est munie d'une fente ; dans cette fente peut coulisser un goujon invariablement relié à la manivelle M. La branche L est reliée au bras sémaphorique. Lorsque la roue d'engrenage tourne, le levier est entraîné par le goujon jusqu'à ce que celui-ci vienne frapper la partie supérieure de la fente et arrête par cela même la rotation du moteur. Les dispositions adoptées rendent impossible tout changement de position par action extérieure, car, la manivelle M et le bras B étant toujours perpendiculaires à la fin du mouvement, toute pression ou traction exercée sur B est détruite par la résistance de l'axe de la manivelle. Le mouvement du levier coudé BL a une amplitude de 45° seulement.

Sur l'axe même du levier coudé L, et participant au mouvement de ce levier est calé, à l'intérieur de la boite et en avant de la roue R (fig. 6) un deuxième bras Q, muni d'un goujon isolé *g*. En dessous, sur une plaque isolante, est disposé un commutateur double, dont les deux bras 1 et 2, isolés électriquement l'un de l'autre, sont reliés mécaniquement par l'entretoise *e*. La figure 6 représente le principe de cet organe : la position du levier L correspond au signal voie libre. Si on ferme le circuit, pour amener le sémaphore à arrêt, L se déplace vers le haut, Q, de droite à gauche, le goujon *g* cesse de toucher le levier 2, sans qu'aucune modification soit apportée d'abord dans la circulation du courant, car le levier 2 reste en contact avec le plot δ.

Lorsque le changement de position du bras sémaphorique est presque effectué, le goujon *g* vient s'appuyer sur le levier 1, l'éloigne du contact β pour l'amener sur α, l'entretoise *e* fait passer en même temps le levier 2, du plot δ sur le plot γ. Par le levier 1, le circuit de déblo-quage est fermé sur α; par le levier 2, le courant est d'abord coupé au moteur (δ), puis envoyé au bouton de débloquage (γ); le moteur est donc immobilisé et on a modifié le sens de circulation ultérieure du courant.

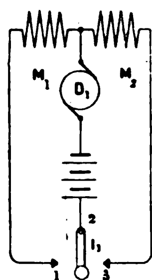


Fig. 3. — Dispositif de changement de marche.

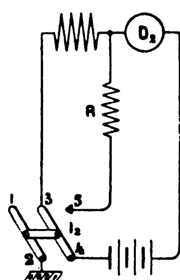


Fig. 4. — Autre dispositif de changement de marche.

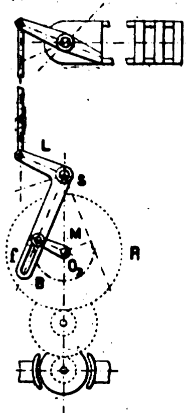


Fig. 5. — Commande du bras sémaphorique.

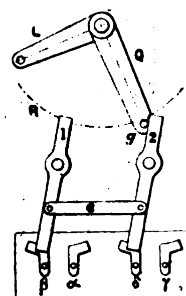


Fig. 6. Commutateur.

En fait, le courant ne peut circuler que le temps nécessaire pour donner au bras sémaphorique la position désirée, par suite on peut prolonger le contact des boutons sans que cela influe sur l'interruption du courant.

Si on se sert comme contact de voie d'un rail isolé, le circuit est fermé par le premier essieu du train et persiste aussi longtemps que cela est utile, puis les essieux passent au-dessus du contact sans être parcourus par des courants.

II. Appareil de block. — L'appareil de block peut être actionné par le stationnaire, soit de l'intérieur, soit de l'extérieur de sa cabine. Dans le dernier cas, on peut le rendre visible pour le personnel du train. La figure 7 le représente ouvert, la figure 8, fermé.

La partie constitutive principale est encore un électromoteur à changement de marche analogue à celui du sémaphore mais plus petit, et muni d'une seule paire d'engrenages retardateurs. La grande roue d'engrenages porte, d'un côté, un goujon isolé pour la commande du commutateur ; de l'autre, est fixé un disque peint moitié blanc, moitié rouge : une seule moitié est visible de l'extérieur et sert à contrôler les deux signaux arrêt et voie libre.

En arrière de la roue est disposé le commutateur, composé de deux plots et d'un levier coudé, montés par l'intermédiaire d'isolants, sur la boîte du moteur, l'axe du levier coudé

***

est en relation avec un des pôles de la source de courant. Aucun changement de circuit n'est possible si l'appareil n'est pas à bloc pour un des sens de marche.

En dessous du moteur, se trouvent deux boutons : avec l'un, on peut mettre *toujours* son propre sémaphore à l'arrêt, et avec l'autre, on ne peut mettre à voie libre le sémaphore voisin, à l'arrière, que dans certaines conditions. Aussi le bouton arrêt est-il constamment

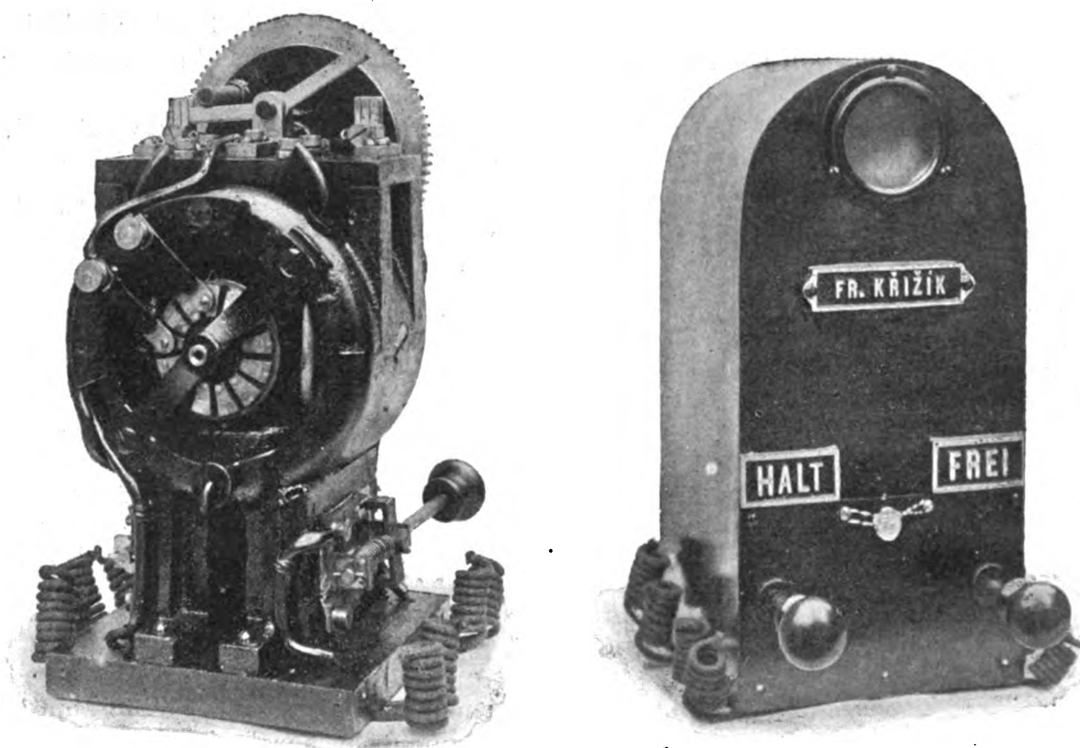


Fig. 7 et 8. — Appareil de block.

relié avec la source de courant, mais comme la position d'arrêt du sémaphore est automatiquement commandée par le train lui-même, ce bouton est normalement inaccessible (scellé ou plombé). Au contraire, le bouton de débloquage ou de voie libre est toujours accessible; toutefois, il ne peut plus être utilisé, lorsque le train a fait apparaître le voyant rouge et que le sémaphore s'est placé dans la position arrêt : le courant est d'ailleurs coupé aussitôt que le sémaphore situé à l'arrière s'est placé dansla position voie libre. Un second débloquage est possible seulement après que le sémaphore en question a été mis à voie libre par le train qui dépasse le poste suivant, et a été ensuite remis à l'arrêt par le passage d'un nouveau train.

III. Contact de voie. — Le bloquage normal du train est commandé par le train lui-même et le débloquage de la section qu'il vient de quitter ne se produit qu'après réalisation de ce bloquage ; une section ne peut donc être débloquée avant que le train qui s'y trouvait ne l'ait quittée, ce qui rend indispensable un appareil de contact actionné par le train seul. La construction peut en être quelconque et les types déjà existants conviennent, si la fermeture du circuit se prolonge pendant le temps nécessaire pour que le voyant de la station passe du blanc au rouge.

Quelques-uns de ces appareils nécessitent l'adjonction d'un bras, d'un ressort ou de

quelque autre dispositif sur la locomotive; leur adoption rendrait impossible l'emploi d'une locomotive quelconque sur une voie équipée avec les appareils décrits ici.

Le choix de l'appareil de contact a une grande importance : la fermeture du circuit doit être assurée, et avoir une durée notable quoique courte. Sans rien changer à la locomotive, on peut provoquer la fermeture du circuit en utilisant la flèche que prend le rail au passage du train, ou encore disposer un rail isolé en communication constante avec la source du courant : les essieux et les roues du train qui passe ferment le circuit par la voie adjacente.

Avec des contacts à mercure, il n'y a pas à redouter que l'étincelle de rupture produise une vaporisation partielle du métal : le courant n'est coupé que lorsqu'il a terminé son action, et la rupture des contacts du commutateur ouvre un circuit dans lequel ne circulait qu'un faible courant.

Si la fermeture du circuit est faite par les roues par l'intermédiaire d'un rail isolé, il est bon d'isoler aussi les extrémités des deux rails voisins ; il n'est plus guère possible alors de provoquer, par un bout de rail ou quelque pièce métallique, un fonctionnement intempestif de l'appareil.

IV. Batterie d'accumulateurs. — Comme source de courant, il convient de prendre des batteries d'accumulateurs de 80-100 volts installées dans les gares : un pôle est relié à tous les postes situés à mi-distance entre les gares, et dans chaque direction. En mettant en circuit avec la ligne un électro-aimant ou un solénoïde qui commande un voyant ou une cloche, la gare peut contrôler l'établissement du courant.

L'installation des batteries dans les gares se justifie pour des raisons d'économie ; le chef de gare peut sans cesse contrôler le voltage, et la charge y est plus facile à réaliser. On peut brancher aussi sur cette batterie la ligne télégraphique ou la ligne des signaux sonores, et se passer de piles, ce qui améliore la distribution des courants dans la gare. Remarquons que les actions chimiques se prolongent dans les éléments, pendant presque 24 heures : elles cessent aux moments où le circuit des boutons est interrompu, soit en moyenne pendant quelques minutes par jour.

On peut assurer de bien des façons la charge des batteries. Dans les gares où se trouvent des pompes ou d'autres machines à vapeur, on utilisera ces appareils pour actionner une petite dynamo. Dans les gares où se trouve installé l'éclairage électrique, les machines génératrices peuvent être employées pour ce nouvel usage ; enfin, dans les endroits où l'on dispose d'une pression d'eau, on peut monter une turbine ou une petite machine à colonne d'eau pour actionner la dynamo de charge.

V. Petit signal a main du stationnaire. (*Signal de coopération.*) — Il est souvent important de faire dépendre d'une coopération antérieure du stationnaire, le bloquage que va produire automatiquement le train; par exemple, si l'on veut être assuré que cet agent reste à son poste ou qu'il doit agir sur la marche du train par un signal indiquant l'état de la voie et indépendant du block (sémaphores, disques, etc...). Il faut un signal directement manœuvrable par le stationnaire, restant dans la position de voie libre tant que cet agent le désire et revenant automatiquement à la position arrêt une fois abandonné à lui-même, muni de plus d'un commutateur qui ferme le circuit seulement lorsque le sémaphore indique la voie libre et assure une interruption durable lorsque ce signal est à la position arrêt.

Le schéma de couplage indiqué plus loin, fait comprendre comment le bloquage ne peut être fait par un train que si ce signal à main indique la voie libre. Sinon le train ne peut pas se couvrir, pas plus que le stationnaire ne peut débloquer la section arrière.

Avec un contact par rail isolé, dont l'isolation est fatalement mauvaise quand l'atmos-

phère est humide, cette coopération réduit les chances d'avaries pour la source de courant et est avantageuse au point de vue du fonctionnement des appareils.

VI. Wagonnet de charge. — A défaut d'autre moyen, il est commode d'employer pour la charge des accumulateurs, un petit moteur à benzine, à pétrole ou essence (2 ou 3 chevaux) monté sur une plate-forme et permettant de rendre cette plateforme automotrice, ou de charger les accumulateurs : on relie un des essieux de la plateforme à l'arbre du moteur, puis à la gare, on soulève cet essieu, de façon qu'il ne touche plus la voie et on le couple avec la dynamo : les roues agissent comme volants.

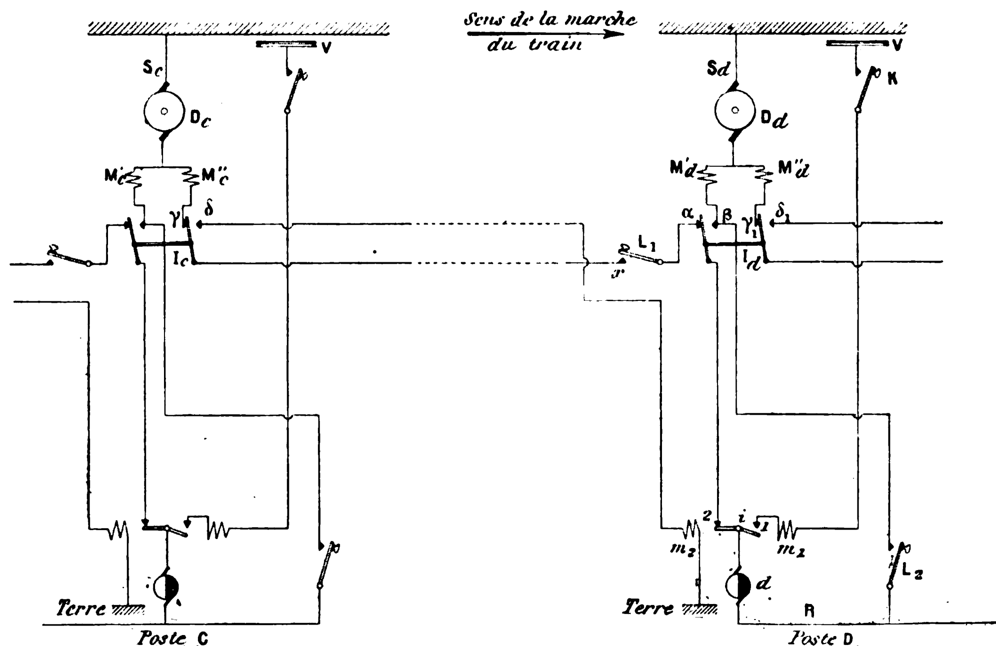


Fig. 9.

VII. Schema des connexions. — Dans ce qui précède nous avons décrit les différents organes nécessaires à la transmission des signaux. Nous allons indiquer comment leur combinaison permet de créer trois systèmes d'exploitation.

1° Block complètement automatique ;

2° Block automatique, avec coopération des stationnaires ;

3° Séparation du bloquage et du débloquage : chaque stationnaire pouvant mettre son sémaphore à l'arrêt, mais jamais donner la voie.

Section courante (fig. 9). — S_c est le sémaphore électrique du poste C. D_c et D_d sont les induits, M′ et M″ les deux enroulements inducteurs correspondants, M′ à arrêt, M″ à voie libre. L'appareil de block du poste D se trouve au-dessous du système sémaphorique, *d* est l'induit, m_1, l'enroulement inducteur correspondant au voyant rouge, m_2, celui correspondant au voyant blanc, I est le commutateur double qui change les connexions lorsque le sémaphore a pris sa position, *i*, le commutateur simple de l'appareil de block, par lequel le changement des circuits est assuré automatiquement à la fin du mouvement du bras sémaphorique ; K est le contact de coopération, établi quand on donne la voie. L_1 et L_2 sont deux commutateurs correspondant aux boutons, sollicités par un ressort vers leur position normale (L_2 est plombé). R est le conducteur d'amenée de courant, V, le contact de voie.

Un signal complet (bloquage de la section considérée et débloquage de la section précédente) comprend quatre phases distinctes.

1° L'apparition du voyant rouge à la place du voyant blanc qu'on perçoit normalement à la fenêtre de l'appareil de block (poste D) ;

2° La mise du sémaphore propre S_d à la position arrêt ;

3° La mise à voie libre du sémaphore de la section précédente, S_c ;

4° La confirmation de la bonne exécution du signal voie libre, par la réapparition du disque blanc à l'appareil de block de D.

Pour que les signaux de block répondent réellement à leur but, ces phases doivent se succéder strictement dans l'ordre indiqué : la commande doit se produire *toujours* et *une seule fois*, afin d'éviter tout défaut de clarté ou toute erreur ; enfin, si une opération a été incomplète, la suivante doit être rendue impossible. Or, l'ouverture de la section, qui peut entraîner les plus grandes catastrophes, ne se produit qu'à la fin : le développement incomplet de toute autre phase ne pourra donc avoir de suites préjudiciables, puisqu'il sera devenu impossible de découvrir la voie.

Comme il faut un circuit électrique pour chaque opération, ce système de block en comporte quatre, dont deux pour le poste lui-même, et deux pour l'ensemble de la section. Le trajet des courants est très facile à saisir si l'on suit l'ordre normal des phases.

Supposons qu'un train s'approche du poste D : si son sémaphore électrique ne s'oppose pas à la continuation de la marche du train, le stationnaire donne la voie avec le signal à main ; il laissera le signal dans cette position tant qu'il n'a pas vu apparaître le disque rouge à l'appareil. Le contact est alors établi et le courant peut passer par le contact de voie. La position à voie libre du sémaphore et du signal à main permet au train de pénétrer dans la section.

Aussitôt que le premier essieu de la locomotive touche le contact de la voie V, le premier circuit se ferme (trajet du courant d, i, 1, m_1, k, V, l'essieu de la locomotive, la terre) le moteur se met en marche de telle sorte que le voyant rouge fait place au blanc : à ce moment le commutateur i a passé de 1 sur 2, d'où les effets suivants :

1° Le courant, par i et le plot 1 était envoyé au moteur m_1 et au contact de voie, mais une fois ce moteur arrêté, les essieux du train passent sur le contact de voie sans être parcourus par aucun courant.

2° Par i et le plot 2, le courant est envoyé au commutateur I_d du sémaphore électrique qui, par suite de la position de voie libre du sémaphore, est sur le contact β ; le courant circule dans le second circuit (d, i, 2, I_d, β, M'_d, D_d, la terre) et le sémaphore se met à l'arrêt : à la fin de ce mouvement, les deux leviers du commutateur double I_d passent de droite à gauche ; par le changement dans la position du levier de gauche, le circuit du moteur est coupé et le courant pourra ultérieurement parcourir un troisième circuit correspondant au bouton de débloquage L_1, ce qui, jusque-là, n'était pas possible : le levier droit du commutateur abandonne en effet le contact δ, et vient s'appuyer sur γ. On voit donc comment le train ne peut se couvrir lui-même que si le stationnaire le permet, et comment cet agent ne peut jamais découvrir le train. De plus un stationnaire ne peut débloquer son voisin en se servant du bouton de débloquage, avant que le train n'ait réellement quitté la section et ne se soit couvert lui-même, puisque c'est dans ce cas seulement que le courant va au bouton de débloquage L_1.

Si le stationnaire place le levier L_1 sur x, un troisième circuit se ferme (d, i, 2, I_d, α, L_1, x, la ligne de débloquage, I_c, M''_c, D_c, la terre) et le sémaphore placé à l'entrée de la section C D, qui vient de devenir libre, se met à voie libre. A la fin de ce mouvement, l'inter-

rupteur I_c passe du contact γ au contact δ et par suite, de nouveau et automatiquement, le troisième circuit est interrompu et un quatrième circuit, fermé (d, i, 2, I_d, α, L_1, x, I_c, δ, ligne de retour, m_2, la terre); le voyant blanc apparaît à la place du rouge, le commutateur i, par le plot 2, coupe le quatrième circuit et, par le plot 1, ferme le premier circuit, comme il a été dit au début.

Bouton de bloquage. — En dehors du bouton de débloquage, il existe un autre bouton, inacessible normalement : après avoir détruit le plomb qui le protège, on peut fermer un cinquième circuit qui mette le sémaphore correspondant à l'arrêt, quelle que soit la position du commutateur. Le stationnaire ne peut plus modifier une position d'arrêt prise dans ces conditions; la voie ne peut être rendue que par l'appareil placé à la sortie de la section et seulement dans les conditions précédemment indiquées.

Quoique son sémaphore ait été placé ainsi à l'arrêt, le poste considéré ne peut pas débloquer la section voisine, à l'inverse de ce qui se passe normalement. Il ne lui est, en effet, plus possible de faire apparaître le voyant rouge ni, par suite, d'envoyer le courant au bouton de débloquage, ce qui exige le passage d'un train sur le contact de voie. Le bouton de bloquage ne doit être utilisé, d'ailleurs, que pour arrêter un train en cas de danger.

Block de gare expéditrice. — La différence avec le block de section réside surtout dans les commutateurs. Au signal de sortie, un commutateur simple est remplacé par un commutateur double, disposé comme dans l'appareil sémaphorique ; en outre un dispositif permet de n'envoyer le courant sur les boutons de bloquage ou de débloquage, que si le voyant blanc apparaît; aussi les touches de bloquage et de débloquage sont-elles toujours accessibles pour le chef de gare; mais tant que le voyant du block de gare apparaît rouge, le circuit reste ouvert et la manipulation de l'un ou l'autre bouton n'a aucun effet.

Le sémaphore de sortie est équipé comme un appareil de section, cependant on n'utilise pas le bras droit du commutateur double, car la mise à voie libre est faite par la gare elle-même qui n'a pas à recevoir de confirmation du poste précédent. Pour arriver à faire commander le bloquage de la gare par les trains qui partent, il faut complètement supprimer le bouton de bloquage au signal de sortie, et donner au commutateur double du sémaphore de sortie la mission de fermer le circuit du bloquage de la gare, comme cela se produit pour le débloquage d'une section.

Le bouton de débloquage devient inutile, car la gare est toujours débloquée par la première section, et peut placer, si besoin en est, le sémaphore de sortie à voie libre.

En règle générale, il est bon de laisser normalement fermé le sémaphore de sortie et de ne donner la voie qu'au moment précis du départ du train. Voyons ce qui se passe alors (fig. 10).

Si, au block de la station, le voyant rouge apparaît, c'est que le contact k est interrompu; la station est incapable d'envoyer aucun courant au sémaphore de sortie par le bouton B, et, par suite, de placer ce sémaphore à sa guise. La gare est bloquée, puisque le sémaphore de sortie a été mis à l'arrêt par le dernier train, et aucun autre ne peut être expédié avant que celui-là n'ait pénétré dans la première section, et ne se soit couvert.

Après l'exécution correcte de cette phase, le premier stationnaire de section peut, au moyen du bouton B_2, envoyer le courant à travers la ligne de débloquage (par le commutateur I, tourné vers la droite, par m', et le fil de retour), et faire apparaître le voyant blanc à l'appareil de la gare, alors :

1° Le commutateur I se déplace de droite à gauche ;

2° Le contact k est fermé : par β, le circuit est interrompu, puis rétabli par α, de sorte que la circulation du courant ne se fait pas directement par la terre de la station, mais

par la ligne de retour, les enroulements inducteurs, et enfin la terre ou le conducteur de retour du block.

L'établissement du contact k envoie le courant au bouton B; la gare peut, dès lors, mettre le sémaphore de sortie dans la position qu'elle veut.

Si la gare, après avoir fait apparaître le voyant blanc, en fermant le contact K, veut expédier un train, elle place elle-même le bouton B sur la borne 2; par suite, le courant est envoyé à la terre par la ligne, l'enroulement inducteur M''_1 et l'armature D_1, le sémaphore se met à voie libre et le levier interrupteur I_1 passe de α sur β.

Tant que le train n'a pas franchi le sémaphore de sortie, la gare peut l'arrêter, en établissant, par le bouton B, le contact 1 : ce qui envoie le courant à la terre par l'enroulement inducteur M_1, et l'armature D_1 et met le sémaphore de sortie à arrêt.

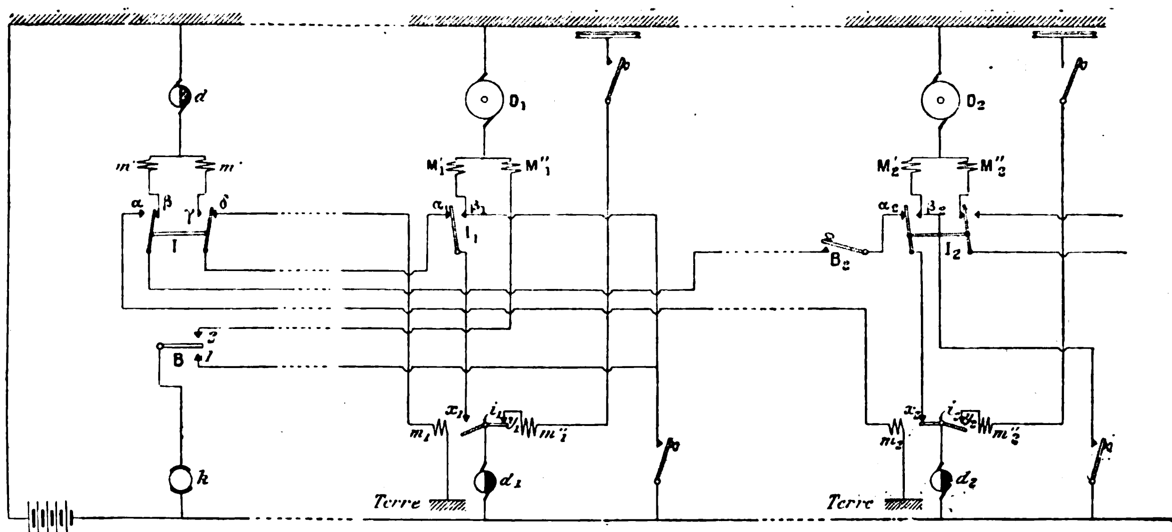


Fig. 10.

Si le train a dépassé le signal de sortie, s'est couvert et a fermé le circuit par la terre, i_1, x_1, I_1, α, I, γ, m'' et la terre de l'appareil de la gare, ce qui a comme conséquence l'apparition du voyant rouge, et la cessation du contact K, la gare ne peut plus manœuvrer le sémaphore de sortie, tant que le train qui vient de partir n'a pas atteint la première section de block. Là, en premier lieu, la coopération du stationnaire fait apparaître le voyant rouge, le sémaphore se met à arrêt, le contact de I_2 passe de β_2 sur α_2, par suite du retour en arrière du bouton B_2, le courant est envoyé à la terre par la ligne de débloquage, le commutateur I, le plot γ, l'enroulement inducteur m'', l'induit d; le voyant de la gare devient blanc et le contact s'établit en K. En même temps, le passage du commutateur I, de β sur α, le retour du courant à la terre par l'enroulement inducteur m'_2 et le passage du commutateur I_2 de x_2 sur y_2, enlèvent au premier stationnaire de section la possibilité de faire par erreur un second débloquage.

Block de gare réceptrice. — Pour les signaux qui correspondent à l'entrée d'un train dans une gare, on se conforme strictement aux principes suivants : la gare peut toujours donner ou fermer la voie, annuler au besoin un signal déjà fait, ou le faire de nouveau. Aussi ne met-on plus là l'appareil conjugué à la position d'un voyant comme dans la gare expéditrice ; le commutateur double est remplacé par un commutateur simple tout comme pour un block de section ; ce commutateur, après réception de la confirmation venant du

sémaphore d'entrée, interrompt le courant ; le circuit reste donc fermé aussi longtemps qu'il est nécessaire pour la communication et la confirmation du signal.

Le signal et le block de la gare réceptrice sont disposés absolument comme le signal et le block de section. Le stationnaire peut toujours mettre le sémaphore d'entrée à l'arrêt et jamais à voie libre ; la gare seule peut donner la voie : le stationnaire d'entrée commande le débloquage du dernier poste de section, mais seulement une fois.

La représentation schématique (fig. 11) du signal correspondant à la gare réceptrice et du dernier block de section, ne nécessite pas d'explications complémentaires.

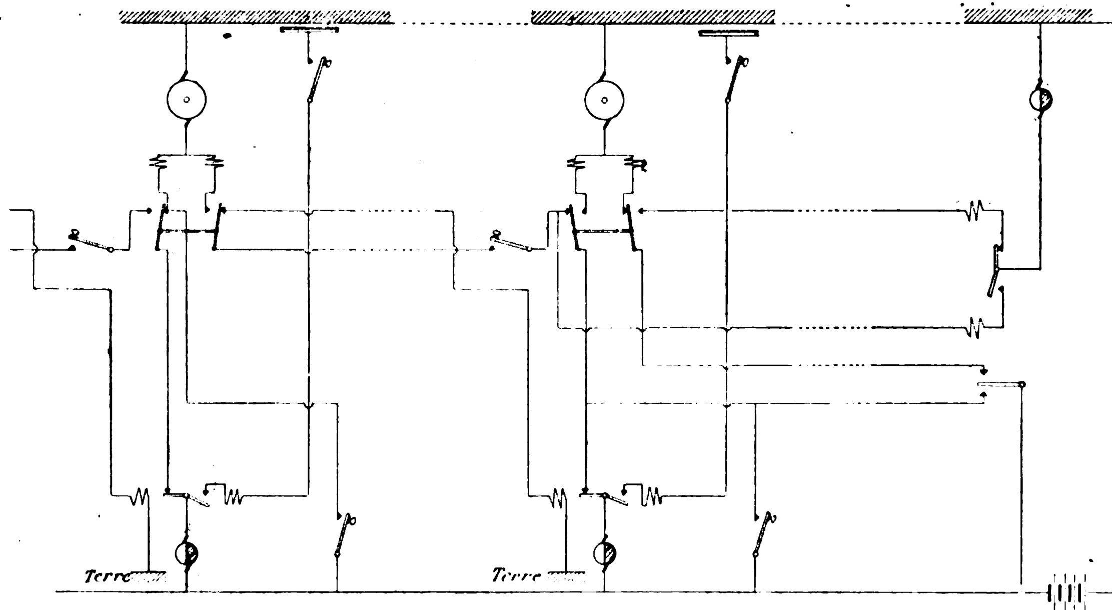


Fig. 11.

VIII. Commande par les aiguilles ou plaques tournantes. — Dans beaucoup de cas, il est bon et parfois même il est indispensable que le débloquage et aussi l'ouverture de la gare dépendent de la position du sémaphore de sortie, ou encore si l'arrivée et le départ se font sur un même tronc, de celle de l'aiguille elle-même.

Pour arriver à ce résultat, on munit le sémaphore ou l'aiguille d'un ou plusieurs contacts, faisant partie des circuits électriques et disposés de façon que ces circuits soient fermés seulement lorsque les signaux ou aiguilles sont dans une position correcte.

IX. Contrôle. — Comme nous l'avons vu, il existe, en général, 4 circuits électriques, qui se ferment successivement. Il est commode de profiter de cette circonstance pour réaliser un enregistrement de contrôle. Chaque circuit comporte un électro-aimant dont l'armature mobile est munie d'un style. Tous les électro-aimants sont réunis dans une boîte spéciale et les styles peuvent s'appliquer sur un papier gradué qui défile d'un mouvement horaire devant eux. Toute fermeture de circuit se traduit par une trace sur le papier : on peut ainsi contrôler aussi bien le fonctionnement des appareils que la marche du train.

Jacques Guillaume,
Ingénieur des Arts et Manufactures

MÉTHODE D'ESSAIS DES MOTEURS D'INDUCTION

La présente méthode a pour objet la détermination expérimentale des propriétés caractéristiques des moteurs d'induction. Elle consiste essentiellement dans la réalisation pratique du diagramme des moteurs d'induction établi par moi en 1895 [1] et a pour point de départ deux observations simples et rapides faites sur le moteur fini. Elle donne une idée nette des caractères principaux : Valeur et mode d'action du moteur. J'emploie cette méthode depuis des années au laboratoire pour faire le contrôle entre les calculs et le résultat, et elle m'a toujours rendu de grands services.

Avant de décrire la méthode elle-même, je vais rappeler rapidement la théorie des moteurs d'induction, ainsi que l'établissement des diagrammes mentionnés ci-dessus.

I Théorie générale des moteurs d'induction. — Le moteur d'induction est, en principe, un transformateur. L'armature d'excitation A (fig. 1) représente le circuit inducteur ou pri-

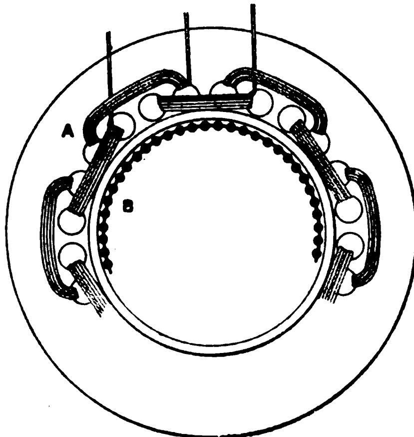


Fig. 1.

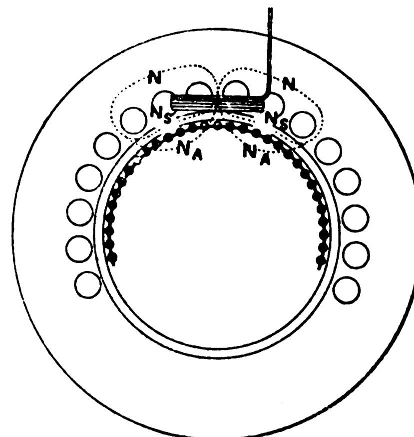


Fig. 2.

maire, l'armature en court-circuit B le circuit induit ou secondaire. Les champs alternatifs des différentes bobines d'excitation se composent de la manière connue pour former un champ tournant.

Il en résulte que le moteur est un *transformateur à champ tournant* et la valeur de la charge du système est toujours obtenue par la différence entre la vitesse de rotation constante du champ produit par l'armature fixe d'excitation et la vitesse de l'armature en court-circuit mobile B.

Le mouvement de rotation résulte des courants produits dans l'armature en court-circuit par le champ tournant que l'armature d'excitation produit dans la dite armature en court-circuit ; de l'action mutuelle de ces courants sur le champ tournant résulte un moment de rotation.

---

(1) *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XVI, p. 619, 3 octobre 1895. — *Electrician*, t. XXXVI, p. 505, 578, 651 719 et 753, février, mars et avril 1896.

Ces courants, et par suite aussi le moment de rotation, augmentent proportionnellement au produit : *champ d'armature* × *glissement*. On donne le nom de *glissement* à la différence entre la vitesse de rotation du champ d'excitation et la vitesse de l'armature en court-circuit. L'augmentation du glissement a, alors, en principe, la même signification que dans le transformateur ordinaire, l'augmentation de la charge résultant de la variation de la résistance extérieure.

Comme dans les transformateurs, lorsque la tension du courant est constante, le champ produit par l'enroulement d'excitation est d'intensité constante, quelle que soit la charge.

Mais l'*armature en court-circuit* qui est la partie transmettant le travail à proprement parler, ne jouit pas de cette propriété. C'est ce qui constitue la différence essentielle entre ce moteur et le transformateur sans dispersion, dans lequel le champ total de l'enroulement primaire traverse également l'enroulement secondaire. Par suite de l'éloignement des spires en court-circuit et des spires d'excitation, tout le flux N produit dans l'armature d'excitation ne traverse pas l'armature en court-circuit; au contraire, une partie N_S de ce flux retourne à l'armature d'excitation directement par l'espace qui sépare les deux enroulements et il n'y a toujours que la différence (fig. 2) : $N_A = N - N_S$ qui traverse réellement l'armature en court-circuit. Ce champ N_A produit dans l'armature en court-circuit des courants qui, d'après la loi de l'induction, sont décalés d'un quart de période par rapport au champ, c'est-à-dire sont perpendiculaires au champ, et de l'action mutuelle de ces courants sur le champ résulte un moment de rotation égal au produit : *courant* × *champ*.

Le champ N_S porte le nom de *champ de dispersion*, et comme il est produit uniquement par le courant primaire I_1, il lui est forcément proportionnel. Si nous désignons par R_S la réluctance du *champ de dispersion*, on a $N_S \equiv \frac{I_1}{R_S}$ [1].

Le *champ principal* est (comme dans le transformateur) de valeur constante $= N$.

La valeur du *champ d'armature* N_A est alors toujours donnée par la différence du *champ principal* et du *champ de dispersion* : $N_A = N - N_S$ et est produit par la différence correspondante des ampères-tours des courants primaire et secondaire. Si nous désignons par I le *courant d'aimantation* résultant des courants primaire et secondaire et par R la réluctance du champ d'armature, nous pouvons écrire : $N_A \equiv \frac{I}{R}$.

Ce *courant d'aimantation* n'est, par suite, pas constant comme dans les transformateurs ; il diminue au contraire lorsque la charge augmente, car dans ce cas I_1 et par suite N_S augmentent et par conséquent N_A diminue.

Si aucun courant n'est produit dans l'armature en court-circuit, l'enroulement primaire ne fournit que le courant d'aimantation et le courant primaire est égal au courant d'aimantation : $I_1 = I$. Ce cas se présente dans la marche à vide, lorsque le glissement est nul.

Lorsque la charge augmente, le processus est le suivant : Le glissement augmente ainsi que la force électromotrice induite dans l'armature en court-circuit et les courants I_2 correspondants. Ce courant secondaire I_2 a une action démagnétisante sur le champ et provoque ainsi, comme dans les transformateurs, une augmentation du courant primaire dans l'armature d'excitation. L'action de désaimantation de I_2 ne s'étend qu'au champ d'armature. Toutefois, l'intensité du champ de dispersion augmente proportionnellement au courant primaire, c'est-à-dire que l'augmentation de la charge et l'augmentation des courants d'armature provoquent deux sortes de phénomènes, à savoir :

1° Directement par l'action démagnétisante de I_2, une *diminution du champ d'armature* ;

[1] Ce signe ≡ remplace la locution || proportionnel à ||.

2° Indirectement par l'augmentation simultanée de I_1 une *augmentation du champ de dispersion.*

D'après ce qui précède, le *champ de dispersion* est directement proportionnel à I_1. Le *champ d'armature* est égal à la différence entre le *champ principal* et le *champ de dispersion ;* ceci revient à dire que les deux champs doivent satisfaire à la condition suivante : leur somme doit être constante et égale au *champ principal.*

II. Diagramme des moteurs d'induction. — Comme on le sait, on peut, dans les moteurs d'induction comme dans les transformateurs, composer le courant primaire de l'enroulement d'excitation et le courant secondaire de l'armature en court-circuit, suivant un triangle des courants dont le troisième côté résultant représente le courant magnétisant I, ainsi qu'il est indiqué figure 3.

Ce courant magnétisant fournit le champ d'armature [1] qui traverse les deux enroulement aussi bien l'enroulement d'excitation que l'armature en court-circuit.

Ce champ d'armature induit les courants dans l'armature en court-circuit et il ne représente que le champ traversant réellement l'armature en court-circuit. Les courants de l'armature n'étant produits que par ce champ, ils doivent présenter exactement un décalage de 90° par rapport au champ de l'armature, comme dans les transformateurs, ce décalage doit être également compris comme un décalage dans l'espace. Ainsi qu'il a été dit dans les explications antérieures, la différence entre les transformateurs sans dispersion et les moteurs d'induction repose dans le fait que ce triangle des courants modifie la

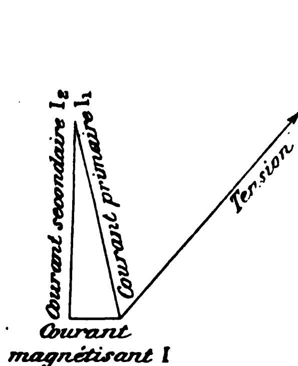


Fig. 3.

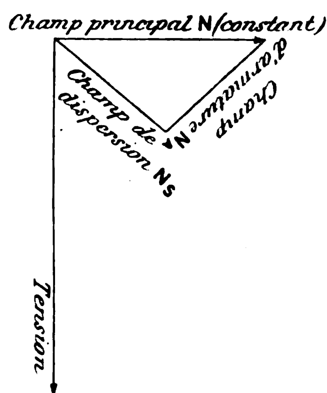


Fig. 4.

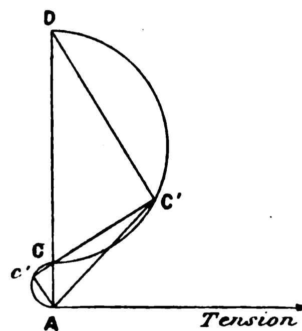


Fig. 5.

position et la grandeur du courant magnétisant. Nous savons (fig. 3) que le champ total constant qui induit une force électro-motrice correspondant à la tension aux bornes a une direction normale à la tension aux bornes. Dans les transformateurs, le *courant magnétisant I* est également perpendiculaire à la tension aux bornes et constant, c'est-à-dire le triangle des courants conserve toujours la même position.

Mais, dans les moteurs d'induction, le *champ principal* se décompose en deux parties dont l'une, le *champ de dispersion*, a la direction du courant primaire et augmente avec ce courant. Il en résulte que le membre restant, c'est-à-dire le *champ d'armature* doit être

N. B. — Je fais remarquer que l'ancien mode d'établissement (*loc. cit.*) du diagramme présente une lacune. Ce n'est que pour le champ d'armature N_A que les conditions sont les mêmes que s'il n'existait qu'un enroulement magnétisant et le courant I, tandis que le champ total résulte de la somme des champs d'armature et de dispersion.

également variable et doit avoir une direction différente de celle de la somme : le *champ principal*. Le *courant magnétisant* qui le produit doit, par conséquent, se modifier en grandeur et en direction. On peut suivre cette variation avec la composition des champs (fig. 4).

Le diagramme projeté par moi autrefois, repose sur ces hypothèses et est représenté dans la figure 5.

Le courant primaire produit le champ de dispersion qui est donné directement par lui et qui se trouve en phase avec lui ; ce champ est : $\equiv N_S \frac{I_1}{R_S} = AC'$. Nous pouvons, par conséquent, l'exprimer directement à une échelle déterminée par le vecteur $AC' = I_1$.

Supposons que le *champ principal* soit donné par la constante A D perpendiculaire à la tension aux bornes : $N \equiv AD$.

Le membre restant C'D doit alors représenter le *champ d'armature* ou bien

$$N_A \equiv \frac{I}{R} = C'D$$

et il faut que C' D soit perpendiculaire à $c'C' = I_2$ et parallèle à $Ac' = I$. Il faut, par suite, qu'un rapport constant existe entre C'D et Ac', ce rapport correspondant à l'équation ci-dessous :

$$\frac{C'D}{Ac'} = \frac{N_A}{I} \equiv \frac{1}{R}.$$

Si maintenant la charge varie, il faut, afin que cette équation subsiste, que les points c et C' se déplacent sur deux demi circonférences (fig. 5).

Les angles c' et C' sont alors toujours de 90° et le rapport $\frac{C'D}{Ac'}$ est constant.

Nous voyons alors, d'après la figure, que le courant ne peut varier indéfiniment, même, si nous supposons que les résistances deviennent infiniment petites. Il atteint bientôt un *maximum* à savoir lorsque C' arrive en D : $I_1 = AD$. Le champ de dispersion qui est alors représenté en même temps par AD, atteint l'intensité du champ principal et le membre restant, le champ d'armature, devient égal à o. Dans ce cas, on a : $N = N_S \equiv \frac{I_1}{R_S} \equiv \frac{AD}{R_S}$.

Faisons la comparaison avec le *minimum* dans l'état déchargé.

Le *minimum* a lieu lorsque le moteur n'est pas chargé. Il devient alors $I_2 = o$, c'est à-dire I_1 égal au courant magnétisant $I_1 = I = AC$. On a alors :

$$N \equiv \frac{I}{R} \equiv \frac{I_1}{R} \equiv \frac{AC}{R}$$

ou bien, comme N est resté constant,

$$\frac{\text{Maximum}}{\text{Minimum}} \text{ du courant} = \frac{AD}{AC} = \frac{R_S}{R} = \text{réluctance } \frac{\text{champ de dispersion}}{\text{champ d'armature}}.$$

Ceci conduit à l'énoncé de la proposition suivante :

Dans les moteurs d'induction, on peut représenter les rapports entre la tension et le décalage des phases par un diagramme de vecteurs dans lequel le vecteur représentant le courant, vecteur qui varie avec la charge, est déterminé par la condition que son extrémité se déplace sur un cercle dont la position est définie par le rapport

$$\frac{A\,D}{A\,C} = \frac{R_S}{R} = \text{réluctance } \frac{\text{champ de dispersion}}{\text{champ d'armature}}.$$

III. Détermination des grandeurs mécaniques — Dans l'examen antérieur du diagramme, nous avons déterminé uniquement les grandeurs électriques, marche des courants et décalage. Afin de permettre une application pratique du diagramme dans le but d'en déduire le mode de fonctionnement et la valeur du moteur, il faut, en outre, exprimer dans ce diagramme les pertes par frottement, les pertes dans le fer et avant tout les pertes électriques.

La vitesse du moteur ne variant que fort peu à la marche à vide et en pleine charge, et le champ d'excitation restant le même, on peut considérer les pertes par frottement et les pertes dans le fer comme sensiblement constantes. Les pertes dans le fer de l'armature en court-circuit peuvent être négligées par suite de la faible fréquence. Nous verrons plus loin que le champ d'excitation ne reste pas tout à fait constant sous l'influence des pertes ohmiques et qu'il diminue au contraire ; par contre, les pertes dans le fer de l'armature en court-circuit augmentent avec la charge à cause du glissement croissant. Les deux actions s'équilibreront sensiblement en sorte que la somme reste tout de même constante.

Il n'en est pas de même pour les pertes dans le cuivre. Ces pertes varient en effet, comme le carré du courant. Il est, par suite, très difficile de les suivre directement dans un diagramme. Nous verrons, toutefois, qu'elles se manifestent encore d'une autre manière, à savoir, par un affaiblissement du champ et d'une manière telle qu'il est extrêmement simple d'en tenir compte. La perte de tension électrique de l'enroulement primaire, produit du courant I_1 par la résistance ohmique, se soustrait de la tension aux bornes et par conséquent, le champ n'a pas à induire une force contre-électromotrice égale à la tension aux bornes, mais simplement une force électromotrice correspondant à la différence entre la tension aux bornes et la perte de tension. Il en résulte que le champ principal induisant cette force contre-électromotrice et, par suite, également le champ d'armature, diminue d'une valeur correspondant à la perte de tension.

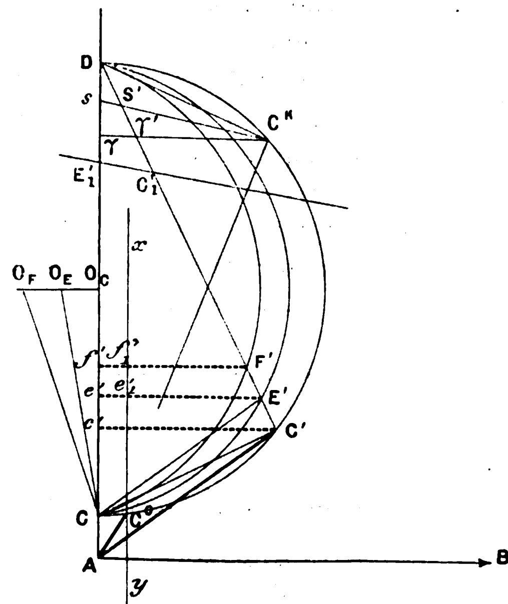


Fig. 6.

Mais, le diagramme était construit dans l'hypothèse d'un champ principal constant. Toutefois, cette négligence ne modifie en rien l'exactitude du diagramme : Nous pouvons, en effet, tenir compte de ces pertes ohmiques par l'introduction d'un champ équivalent que l'on retranche dans la suite du champ d'armature résultant, de manière à obtenir le résultat exact.

Etant donné qu'à une force électromotrice donnée correspond toujours un champ perpendiculaire proportionnel, on peut tenir compte de toutes pertes de tension par une réduction du champ d'une quantité proportionnelle à la perte, perpendiculairement à la perte de tension, c'est-à-dire perpendiculairement à la direction du courant [1].

Nous pouvons, par suite, compter sur un champ constant (hypothèse qui est la base de

[1] N. B. — Cette manière de tenir compte de la chute de la tension ohmique par la réduction du champ correspond aux explications que j'ai données dans ma conférence à la Société des électriciens allemands E. T. Z. 1896.

notre diagramme) à condition de diminuer ensuite le champ d'armature de la valeur correspondant à la perte de tension.

Or, il est facile d'exécuter cela dans le diagramme. Le courant primaire AC′ se décompose en deux AC et CC′ (fig. 6), dont l'un, le courant à vide AC, est compté avec les pertes constantes. La composante variable CC′ provoque, alors, une perte de tension qui se manifeste par une diminution du champ N_A qui lui est perpendiculaire, cette diminution étant proportionnelle au courant CC′. On peut exprimer cela de la manière suivante : Une partie de la tension amenée étant déjà enlevée par la perte de tension ohmique, il suffit que le champ d'armature diminue de cette quantité qui correspond à la perte de tension.

Si nous désignons par C′E′, cette partie qui se soustrait, il faut qu'elle soit proportionnelle à CC′, c'est-à-dire que le point E′ se déplace sur la deuxième circonférence inscrite. Cette circonférence indique que le champ d'armature n'est plus représenté par DC′, mais par DE′.

Le champ principal diminue naturellement de la même quantité. Toutefois, comme nous ne l'utilisons plus dans nos recherches ultérieures, il est inutile d'indiquer cela dans le diagramme.

La perte dans l'armature en court-circuit se manifeste de la même façon par la partie E′F′.

En tenant compte, de cette manière, de la perte ohmique dans les deux enroulements au moyen de la diminution du champ d'armature correspondant, il nous est possible de déduire directement, sans autres calculs, les grandeurs mécaniques : force d'entraînement, puissance, etc... etc...

a. L'énergie électrique utilisée $= 3\ e\ i \cos \varphi$ ou $= \sqrt{3}\ E\ i \cos \varphi$ peut être mesurée par la composante wattée du courant primaire A C′, c'est-à-dire par l'abscisse $C'\ c'$, car la tension aux bornes est constante. Par suite :

$$\text{Energie utilisée} \equiv C'c'.$$

b. — La force d'entraînement est déterminée par le produit champ d'armature × courant secondaire ≡ E′D.xC′C, c'est-à-dire par la surface du triangle CE′D, ce triangle ayant E′D pour base et C′ C pour hauteur. Comme un des côtés CD reste constant, on peut aussi représenter la surface par la hauteur $E'\ e'$ correspondant à ce côté, c'est-à-dire que la force de traction est proportionnelle à l'abscisse du point E′.

Mais, nous savons, de plus, qu'il existe des pertes constantes produites par le frottement des coussinets, dans l'air, les pertes dans le fer et les pertes de Joule du courant à vide. Ces pertes étant constantes, elles se manifestent par une diminution constante de la force de traction, qui aura par exemple $c'\ e'_1$ pour valeur. On peut tenir compte de cela dans le diagramme simplement en menant à l'axe des ordonnées la parallèle $x\ y$ à la distance $e'\ e'_1$; la force d'entraînement sera alors l'abscisse de la distance e'_1 E′. On a par suite :

$$\text{Force d'entraînement} = e_1 E'.$$

c. — La puissance est obtenue d'une manière analogue et en tenant compte des pertes dans l'armature en court-circuit E F′ par la hauteur réduite du triangle CF′D.

$$\text{Puissance} = f'_1 F'.$$

d. — *Le glissement* résulte finalement du fait que les courants induits dans l'armature en court-circuit sont proportionnels au produit : *champ d'armature* × *glissement.* ou bien :

$$\text{Glissement proportionnel à } \frac{\text{Courant d'armature}}{\text{Champ d'armature}} \equiv \frac{C'C}{E'D}.$$

Or, C′ C est proportionnel à E′C, ou bien glissement $= \frac{E'C}{E'D}$. Si nous menons en un point quelconque à la partie supérieure du diagramme une droite $E'_1C'_1$ telle que l'angle DE'_1C' soit égal à l'angle inscrit constant DE′C correspondant à CD, on a :

$$\frac{E'C}{E'D} = \frac{E_1'C_1'}{E_1'D}.$$

Dans cette relation E'_1D est constant, en sorte que $\frac{E'C}{E'D} = E'_1\,C'_1$, c'est-à-dire que l'on a : glissement $= E'_1\,C'_1$.

Cette longueur $E'_1C'_1$ constitue par suite une véritable échelle qui permet de lire directement l'augmentation du glissement.

Pour déterminer maintenant la valeur absolue du glissement, il faut par exemple rechercher le point où le glissement devient égal à 100 p. 100, c'est-à-dire où le moteur s'arrête. Dans ce cas, la puissance doit devenir égale à O, c'est-à-dire le point F doit tomber en D. Ce cas est réalisé lorsque C′ arrive en C^k et que C^k D devient tangente au cercle O_F. Si nous menons encore par C^k la parallèle, $s\,C^k$ à $E'_1C'_1$, la ligne D C y découpe une partie $s\,s'$ qui est proportionnelle à $E'_1C'_1$ et qui mesure par conséquent également le glissement et à savoir directement par rapport à s C^k (glissement 100 p. 100). On a par suite : *Glissement* $= s$ S′.

Indiquons, pour finir le rendement électrique :

La perte électrique en pour cent de l'énergie utilisée est proportionnelle à :

$$\frac{\text{Courant d'armature}^2}{\text{Énergie utilisée}} = \frac{C'\,C^2}{c'\,C'} = \frac{C'\,C}{C'\,D} \quad \text{(parce que } c'C' = C'C \times C'D.$$

Si nous abaissons de C^k la perpendiculaire $C^k\gamma$ à AD, le rapport est représenté par une portion de droite $\gamma\ \gamma'$ (comme le glissement), et finalement le rendement électrique est représenté par le membre restant ; on a, par suite :

Rendement électrique $= C^k\gamma'$.

Le diagramme ainsi constitué permet de résoudre toutes les questions que l'on a à examiner.

Dans la *marche à vide* (fig. 7), le point C^o est déterminé uniquement par les pertes à vide, les pertes constantes par frottement et dans le fer et les pertes dans le cuivre du courant magnétisant. Ces pertes se manifestent par le fait que, au courant magnétisant AC, s'ajoute encore un courant watté CC^o qui couvre ces pertes, en sorte que le courant à vide devient AC^o. La force d'entraînement et la puissance sont nulles et le glissement est très petit.

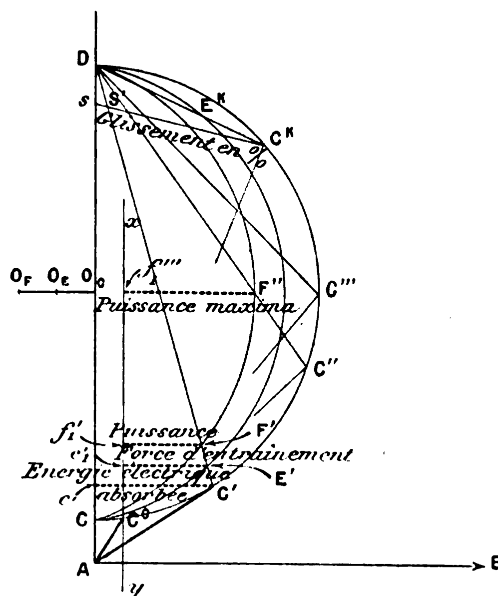


Fig. 7.

Lorsque la *charge augmente*, le point C′ continue à se déplacer sur le cercle, le décalage φ entre la tension et le courant diminue (cos φ croît). Au point C′ (où A C′ est tangente au cercle), le décalage devient minimum. La force d'entraînement est devenue e'E′, la puissance f'F′ et le glissement sS′.

Cette puissance continue à augmenter lorsque le glissement augmente et atteint finalement un maximum en F″.

Le glissement continuant à augmenter la puissance diminue de nouveau, le travail

absorbé augmente encore un peu, puis diminue pendant que le décalage augmente rapidement. La puissance devient finalement égale à o lorsque le glissement est égal à 100 p. 100 et que le point s' tombe en C^k. Tout le travail amené est alors détruit dans le moteur.

IV. Application pratique du diagramme. — Jusqu'à présent, nous avons établi toutes les relations d'une manière complète et définitive et exclusivement au moyen de raisonnements théoriques ; il ne nous reste plus qu'à montrer la coïncidence entre la théorie et la pratique au moyen de relevés pratiques.

Pour pouvoir déterminer la valeur et le mode de fonctionnement d'un moteur terminé au moyen de son diagramme et de ses constantes, nous avons besoin des quantités suivantes :

1. Le rapport des reluctances $\frac{\text{champ de dispersion}}{\text{champ principal}}$.
2. Résistances des circuits.
3. Pertes dans le fer et par frottement.
4. Courant à vide.
5. Courant de court-circuit.

Un certain nombre de ces grandeurs, comme par exemple les réluctances ne peuvent pas du tout être déterminées par une mesure directe. D'après nos explications antérieures, il serait possible de mesurer ces résistances s'il n'existait aucune perte dans le moteur, c'est-à-dire si les résistances électriques étaient nulles. En effet, si l'on mesurait alors le courant primaire d'une part, l'armature en court-circuit étant ouverte, et d'autre part, cette armature étant fermée en court-circuit, ce courant aurait dans le premier cas la valeur A C et dans le deuxième cas, la valeur A D, et le rapport $\frac{AD}{AC}$ serait égal au rapport :

$$\frac{\text{Réluctance du champ de dispersion}}{\text{Réluctance du champ principal}}$$

Mais, ainsi qu'il a été montré ci-dessus, et comme conséquence des pertes, ce ne sont que les points C^0 et C^k qui se présentent réellement. Or, il est extrêmement facile de relever ces points et on peut au moyen de ces points déterminer le centre du cercle O_0 sur lequel ils doivent se trouver. Nous trouvons alors les points C et D et tous les autres points caractéristiques d'une manière simple.

Il nous suffit de faire deux mesures à l'ampèremètre et au wattmètre :

1. Pendant la *marche à vide*, on mesure le courant AC^0 et l'angle de décalage $\varphi = C^0$ A B;

2. A l'*arrêt* (le moteur étant freiné) : on mesure le courant AC^k et l'angle de décalage $\varphi = C^k$ AB.

S'il n'est pas possible de donner au moteur le courant total de court-circuit, il suffit de faire cette lecture avec une tension plus faible. Le vrai courant de court-circuit est alors proportionnel à la tension. Si nous traçons la direction de la tension aux bornes A B, la direction et la tension du courant de marche à vide AC^0, et la direction et la grandeur du court-circuit AC^k, le centre O_c du cercle est déterminé par la condition qu'il doit se trouver sur la perpendiculaire à AB. Si nous mesurons de plus la résistance du circuit d'excitation R_1 le produit $I_1 R_1$ permet de trouver le point E^k ainsi que les centre O_E et O_F et la ligne de glissement S C^k ; ceci montre que les deux simples mesures faites pendant la marche à vide et à l'arrêt suffisent pour déterminer tous les points caractéristiques et permettent de construire les courbes de charge. Les observations sur le moteur ne se faisant que pendant la marche à vide et à l'arrêt, cette méthode rend inutile toute épreuve exacte en charge.

Ce procédé a, en outre, l'avantage de permettre, au moyen du diagramme même, une

détermination rapide de la raison des différentes caractéristiques du moteur, et le diagramme indique également les relations qui doivent être modifiées pour atteindre un certain but quelconque.

Dans un moteur présentant de faibles pertes électriques, par exemple, la partie E^k D qui représente ces pertes sera très petite, le point E_k sera par suite placé très haut et il en résultera une force d'entraînement $E^k e^k$ petite. On évitera cela de la manière connue en introduisant, au moyen de frotteurs, des rhéostats de mise en marche dans les circuits de l'armature en court-circuit. Si on veut éviter les frotteurs, il ne faut pas trop diminuer la résistance de l'armature en court-circuit. Les points $E^k{}_1 C^k$ sont alors placés plus bas ; il en est de même de la ligne de glissement SC^k et le glissement varie davantage. Il en résulte pour le moteur en charge de plus grandes variations de vitesse et un plus mauvais rendement.

On peut également obtenir une force d'entraînement favorable, sans augmenter autant les pertes, en construisant le moteur d'une manière telle que la charge normale soit déjà située en un point plus rapproché de C^o, c'est-à-dire en donnant une grande intensité au champ. Mais alors, le courant magnétisant devient très grand par rapport au courant watté et le cos φ diminue et prend une valeur défavorable ; en outre, un tel moteur sera relativement grand. La grandeur du moteur est généralement déterminée par la valeur maxima de la puissance en C'', et la puissance normale en CC' résulte de la puissance de surcharge que l'on veut pouvoir obtenir.

A ce point de vue correspond également la constante de dispersion de Rothert [1] qui fixe pour chaque capacité de surcharge un rapport déterminé entre le courant et le champ. Dans le diagramme, ce rapport est exprimé par $\frac{CC'}{C'D}$, c'est-à-dire par la tangente de l'angle C' DC. Lorsque cet angle devient égal à 45° le moteur atteint sa charge maxima. Plus cet angle est petit, plus le pouvoir de surcharge du moteur est grand. Rothert ne tient pas compte dans sa constante du courant magnétisant. Le pouvoir de surcharge d'un type défini de moteur est limité par le fait que le courant magnétisant devient finalement très grand (grand décalage), c'est-à-dire, le cos φ devenant plus défavorable.

Le courant magnétisant est déterminé par l'entrefer. Si on modifie l'entrefer, le courant magnétisant AC se modifie, tandis que tout ce qui se trouve au-dessus du point C reste invariable. On peut, par conséquent, dire comme Rothert : abstraction faite du courant magnétisant, le diagramme est identique pour tous les moteurs polyphasés. La capacité de surcharge C''' est donnée par le courant watté, c'est-à-dire par le rayon du cercle. Pour une capacité de surcharge double, par exemple, la charge normale correspond au demi-rayon. Le courant de court-circuit est caractéristique de la puissance du moteur et comme ce courant est sensiblement représenté par le diamètre, on peut énoncer la règle : la puissance normale d'un moteur correspond environ au quart de son courant de court-circuit, c'est-à-dire un moteur de 100 volts ayant un courant de court-circuit de 100 ampères, sa puissance normale correspond à : $\frac{1}{4} \times 100 \times 100 \times \sqrt{3} = 4{,}300$ watts, et avec 70 p. 100, environ 5 chevaux, c'est-à-dire, la puissance normale correspond au quart du courant et est par conséquent proportionnelle au courant qui suffit pour faire passer le champ total par l'entrefer.

Il est évident que, la tension étant constante, ce courant est inversement proportionnel

[1] *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XIX, p. 321, 26 mai 1898.

au carré du nombre de spires, qu'il est, en outre, directement proportionnel à la longueur du champ de dispersion, c'est-à-dire au diamètre d et troisièmement, inversement proportionnel à la largeur du moteur.

Ainsi :

$$L = \frac{d}{b} \frac{l}{m^2}.$$

Pour augmenter la puissance, il faut par suite augmenter d et diminuer b.

Ces manières de voir sont intéressantes et en même temps extraordinairement simples, et rendent d'excellents services.

En se rappellant que l'on peut remplacer m par $\frac{tension}{N}$ et L par tension $\times$ courant i, on obtient toutes les quantités de la constante de dispersion de Rothert :

$$\frac{mib}{Nd}.$$

Dans la construction des moteurs normaux et à côté des conditions d'échauffement faible, c'est-à-dire, de bon rendement, les règles suivantes servent principalement de lignes de conduite.

Capacité de surcharge de 1 1/2 à 2 et force d'entraînement normale pour un emploi modéré de courant, faible courant à vide, suivant la grandeur du moteur, $\frac{1}{3}$ à $\frac{1}{5}$ du courant normal.

Faible décalage, bon $\cos \varphi$, chute modérée de vitesse.

Il est difficile d'atteindre simultanément tous ces résultats, surtout pour les petits moteurs, étant donné qu'une valeur trop grande d'une de ces quantités entraîne toujours une valeur trop petite d'une autre.

(*A suivre.*)

HEYLAND
Ingénieur conseil.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

Sur les commutatrices, par **H. S. Meyer**, *Electrotechnische Zeitschrift*; t. XXI, p. 267, 5 avril 1900.

Les commutatrices s'emploient sous trois formes différentes : soit pour transformer le courant alternatif en continu, soit pour transformer le courant continu en alternatif, soit enfin comme génératrices produisant à la fois le courant continu et alternatif. Les deux premiers cas sont parfois réunis en un seul : la même machine effectue tantôt l'une, tantôt l'autre des transformations.

C'est le cas de la station centrale de Cleveland (fig. 1) : la commutatrice relie le réseau alternatif au réseau continu : des deux côtés elle est couplée en parallèle avec les génératrices. Un régulateur d'induction permet de faire varier la tension.

Nous nous occuperons ici des commutatrices proprement dites, transformant le courant alternatif en continu.

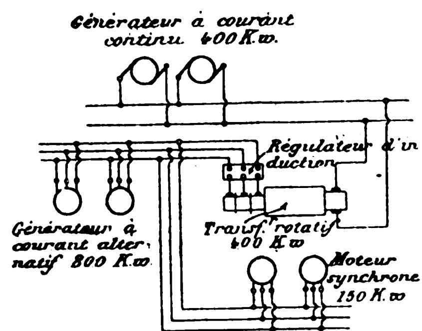


Fig. 1.

On peut les diviser en trois catégories.

1° *Commutatrices avec excitation shunt.* — Ce type est le meilleur pour les installations d'éclairage où la tension de la commutatrice doit varier indépendamment de la charge. Dans ce cas elle reçoit le même courant déwatté à toute charge : quand l'excitation est réglée de telle sorte que l'intensité soit minima à une charge donnée, il en sera à peu près de même à toutes charges. Ceci n'est exact que si la tension alternative est constante, c'est-à-dire si l'alternateur est compound.

2° *Commutatrices à excitation compound.* — Les bobines excitatrices sont pourvues d'un enroulement série qui permet de maintenir la tension constante et même de la faire croître avec la charge.

Ce compoundage est obtenu grâce à une modification du décalage entre le courant et la tension de la commutatrice : si le courant est en avance il élève la tension en passant par la self-induction comprise entre la commutatrice et le point de potentiel constant ; si le couraut est en retard, il la diminue. Ainsi donc, à faible charge, le courant doit retarder ; à forte charge, il faut qu'il avance et la réactance du système doit être suffisante. On voit donc la self-induction jouer ici un rôle favorable et contribuer à une élévation de tension. Nous mettrons ceci en lumière au moyen de deux diagrammes.

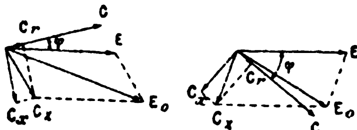


Fig. 2 et 3.

Dans la figure 2, le courant C provoque une chute de tension entre la génératrice et la commutatrice (cas de la sous-excitation). Dans la figure 3 le même courant et la même self-induction produisent une élévation de tension à la commutatrice, laquelle agit comme un condensateur. Dans ces diagrammes, dont la construction est évidente, C représente le courant, r la résistance, x la réactance, E la tension de la commutatrice, E_1 la tension de la génératrice, C_r la chute ohmique, C_x la chute inductive.

Il faut remarquer qu'une modification de l'excitation ne peut modifier la tension continue : la commutatrice n'est pas autre chose qu'un transformateur et les tensions alternatives et continues sont entre elles dans un rapport constant, qui change légèrement, il est vrai, avec la charge, mais sur lequel l'excitation n'a aucune influence. Le champ détermine la force contre-électromotrice et celle-ci varie avec le champ. Suivant que cette force contre-électromotrice est supérieure ou inférieure à la tension aux bornes, le courant de la commutatrice sera en avance ou en retard et, grâce à la self, fera varier la tension alternative et par suite la tension continue. — La réactance nécessaire est obtenue au moyen de bobines de self insérées dans le circuit à basse tension entre le transformateur et la commutatrice.

Pour obtenir la même tension en pleine charge et à vide, on procède de la façon suivante : on règle le rhéostat de champ de façon à obtenir la tension convenable à vide ; puis on règle la réactance introduite dans le courant principal de façon à obtenir à pleine charge, la même tension qu'à vide.

Ordinairement, le courant à vide est égal à 30 p. 100 du courant de pleine charge ; s'il est supérieur à 40 p. 100, cela prouve, ou bien que le rapport de transformation de la commutatrice n'est pas le meilleur, ou bien que la perte en ligne est trop forte, ou enfin que la génératrice donne une tension plus forte qu'on ne l'avait prévu. Dans tous ces cas, on augmente la réactance. Le compoundage se détermine par la condition d'avoir le courant minimum à pleine charge.

Nous éclairerons cette théorie par un exemple. Supposons que nous ayons deux génératrices à haute tension de 450 kilowatts chacune fournissant du courant sous 6500 volts à deux commutatrices de 400 kilowatts chacune servant à la traction. Les génératrics marchent à une excitation constante correspondant à 6 500 volts à vide. La longueur de la ligne est de 22 km, la perte en ligne et dans les transformateurs est de 10 p. 100. La perte ohmique dans le circuit du tramway est de 20 p. 100, à pleine charge. Si les génératrices alimentaient la ligne sans régulation de champ, la tension continue serait de 600 volts à vide et de 500 volts en charge. Si on munit les commutatrices d'un faible rhéostat dans le circuit shunt et d'une forte résistance dans l'excitation série, il y aura une grande baisse dans l'excitation à faible charge et il y

aura dans le premier cas retard, dans le second cas, avance du courant.

La force électromotrice de self-induction de la génératrice est en retard de 90° sur le courant ; comme le courant est très en retard sur la tension aux bornes de la génératrice, la force électromotrice de self-induction de la génératrice se retranche de la tension de celle-ci et la tension aux balais de la commutatrice est réduite à 500 volts. Si la charge croît, l'excitation croît grâce au circuit à gros fil et le courant prend de l'avance. Alors la phase de la force électromotrice de self-induction se rapproche de celle de la force électromotrice de l'alternateur et il y a addition. Ainsi donc la perte en ligne est compensée par l'élévation de tension due à l'avance du courant. Dans notre cas, on pourrait, avec une réactance suffisante, élever la tension à 550 volts en charge, ce qui est très utile pour les exploitations de tramways.

Le troisième genre de commutatrices comprend les machines sans bobines inductrices. Comme l'excitation est produite par le courant de l'induit, nous aurons à toute charge un courant en retard. Le facteur de puissance sera assez bas. Même avec un très petit entrefer, le courant à vide est au moins égal à 40 p. 100 du courant normal et le facteur de puissance de la commutatrice est

$$\text{à pleine charge } \frac{1}{\sqrt{1 + 0,4^2}} = 93 \text{ p. } 100$$

$$\text{à mi-charge . . } \frac{0,5}{\sqrt{0,5^2 + 0,4^2}} = 78 \text{ p. } 100$$

$$\text{à } 1/2 \text{ de charge } \frac{0,25}{\sqrt{0,25^2 + 0,4^2}} = 53 \text{ p. } 100.$$

Cet inconvénient limite l'emploi des commutatrices dans les cas où l'on cherche avant tout l'économie de construction.

L'emploi des commutatrices pour la transformation du courant continu demande des précautions. Un moteur continu à faible champ a tendance à s'emballer. Ici le danger est d'autant plus grand que le courant alternatif en retard affaiblit encore le champ ; la commutatrice commence à augmenter de vitesse, ce qui augmente la fréquence et par suite la réactance ; le retard du courant augmente et l'emballement se produit. Pour éviter ce danger, il faut prendre des commutatrices surexcitées et se servir d'interrupteurs à force centrifuge. On peut aussi adopter une excitatrice séparée sur l'arbre de la commutatrice : si la vitesse augmente, le courant d'excitation augmente aussi et le champ est renforcé. E. B.

Essais d'une dynamo à courant continu munie de deux enroulements indépendants, suivant le procédé Weston, par le professeur **A. Sengel** (Darmstadt). *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XX, p. 525 et 548, 27 juillet et 3 août 1899.

Le système d'enroulement Weston (D. R. P n° 21 184) consiste dans l'emploi de deux ou plusieurs enroulements identiques, emboîtés les uns dans les autres, les différentes sections correspondantes et voisines aboutissant séparément à des lames de collecteurs juxtaposées et réunies sur un seul collecteur.

Les deux lames appartenant à une même section, sont séparées l'une de l'autre par les lames correspondant aux sections des autres enroulements, et par suite les balais placés dans la zone neutre, pour pouvoir court-circuiter une section, doivent avoir une largeur au moins supérieure à la largeur de n-1 lames, si n est le nombre des enroulements différents.

La figure 1 se rapporte à une dynamo bipolaire munie de deux enroulements.

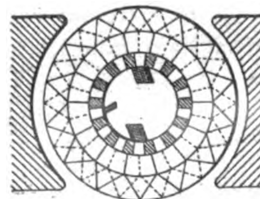


Fig. 1.

Si en plus des deux balais ordinaires, on place en un point quelconque du collecteur un troisième balai, dont la largeur soit au plus égale à celle d'une lame, ce balai ne pourra jamais court-circuiter aucune section : il en résulte que ce troisième balai, même placé sous les pôles pourra fonctionner sans étincelles.

L'auteur a d'abord effectué une série d'essais sur une dynamo Schuckert, à deux enroulements série en tambour entremêlés, dont les constantes étaient 340 volts, 350 ampères, 400 tours-minute. Dans ces essais, il a reconnu que l'on pouvait employer trois balais, sans danger pour le collecteur, même en ne chargeant qu'un seul des deux ponts ainsi obtenus. Toutefois, la for-

mation des étincelles était très différente d'après la nature des connexions et de la charge, suivant une loi que ces essais, trop courts, furent impuissants à établir. A l'automne de l'année 1898, l'auteur a entrepris une nouvelle série d'essais sur une autre dynamo Schuckert, type A F 30, donnant 318 ampères sous 110 volts à 800 tours-minute.

Ces essais ont porté sur les trois points suivants :

1° Etude de fonctionnement de la dynamo à vide, avec un troisième balai ;

2° Etude de la dynamo chargée sur un seul pont;

3° Emploi de la dynamo comme commutatrice.

La tige du troisième balai, que nous désignerons sous le nom de balai O, était portée par une traverse en bois, reposant sur les tiges des deux autres porte-balais ; le passage des trois tiges dans la traverse était assuré par une longue fente (fig. 2), ce qui permettait de faire varier la position du balai O, dans de larges limites entre les deux autres balais.

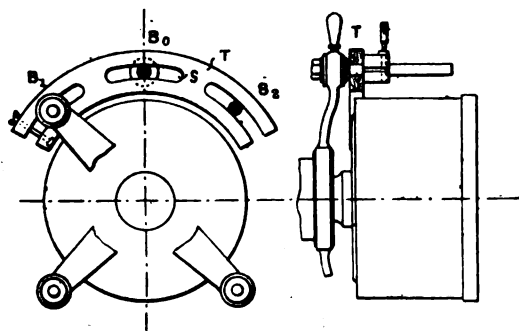


Fig. 2.

I. Fonctionnement de la dynamo a vide, avec un troisième balai. Dans ces premiers essais l'auteur a employé les 4 modes de montage du troisième balai, représentés dans les figures 3-6.

Les dispositifs I_a et I ont donné le même résultat quant à la formation d'étincelles; de même II et II_a se sont comportés de la même façon l'un que l'autre, mais fort différemment des premiers; et par suite une grande partie des essais n'a été effectuée que sur les positions I et II; les positions I donnaient notablement plus d'étincelles que les positions II.

La formation d'étincelles dans la marche à vide s'explique par le phénomène suivant : lorsque le balai O repose sur deux segments du collecteur, il établit entre les deux enroulements,

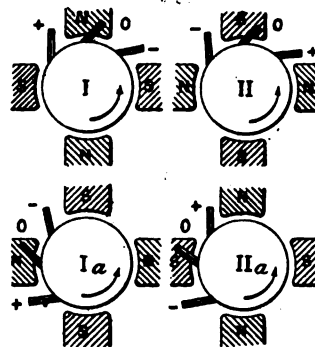


Fig. 3 à 6.

en plus des deux liaisons qui existent entre eux aux balais principaux, une troisième liaison supplémentaire. Or, par suite de la juxtaposition des deux enroulements, la tension induite dans ces deux enroulements, entre un balai principal quelconque et le balai O, n'est pas la même pour les deux : mais elle diffère dans les deux cas d'une quantité égale à la demi-tension induite dans une section placée au même point du champ magnétique que le balai O.

Il s'établit donc, à travers le balai O, un courant de circulation entre les deux enroulements, de chaque côté de ce balai par rapport aux balais principaux, et ces deux courants dans les deux ponts traversent le balai O dans le même sens. Ce phénomène ressemble beaucoup à ce qui se passe dans la commutation sous les balais, pour les dynamos ordinaires, avec cette double différence que : 1° la résistance de court-circuit comprenant ici tout l'enroulement est notablement plus grande que dans le cas ordinaire; 2° les courants de circulation changent de sens alternativement à chaque passage d'une lame sous le balai O, ayant ainsi une fréquence élevée, d'où il résulte que la self-induction du circuit (bien que faible à cause de la position relative des deux moitiés de ce circuit, analogue au dispositif de bobines sans self), diminue d'une façon notable la valeur de ces courants.

Pour étudier la perte d'énergie résultant de ces étincelles, on a fait tourner la dynamo comme moteur à vide, sous une tension de 120 volts, une excitation constante de 4,2 ampères, et une vitesse de 790 tours-minute

Le balai O était en cuivre, avec largeur 30 mm,

épaisseur 5 mm ; la largeur de la surface de contact environ 8 mm, pour des lames de collecteur de 9,4 mm. En plaçant le balai O dans la zone neutre, on a déterminé la perte par frottement de ce balai, 0,20 ampère en moyenne (le moteur prenait à vide 14 ampères).

Résultats pour la position I.

Distances en degrés du balai o au balai + .	25,5	33,0	40,0	47,5	57,0
Accroissement du courant en ampères, après déduction des 0,20 A de frottement	1,00	0,72	0,85	1,00	0,88

Soit en moyenne 0,9 A, ce qui correspond à 0,9 × 120 = 108 watts.

L'auteur fait remarquer qu'aucune loi ne peut se déduire de ces chiffres, alors qu'on eût pu croire qu'il y aurait un minimum à la position 45°, qui correspond à la résistance maximum de l'ensemble des deux circuits.

Il explique ce résultat par la différence de valeur des résistances de contact qui à cause de la nature du support ont sûrement dû varier dans les différentes mesures [1].

Résultats pour la position II.

Distances en degrés du balai o au balai —.	33,0	47,5
Accroissement du courant en ampères après déduction du frottement.	0,33	0,25

Soit en moyenne 0,29 A, d'où 35 watts, valeur beaucoup plus faible que précédemment.

La formation des étincelles suivait d'ailleurs la même loi ; étant presque nulle dans le second cas.

Un essai fait avec balais de charbon, dans la position 1, a donné les résultats suivants, qui s'explique par la plus forte résistance de contact dans ce cas.

Accroissement de courant dû au frottement : 0,5 A

Distances en degrés du balai o au balai + ...	39,5	44,0	50,5
Accroissement du courant en A, après déduction du frottement	0,17	0,20	0,14

Soit en moyenne 0,17 A, correspondant à 20 watts.

[1] N. d. T. Il y aurait lieu aussi de tenir compte de ce que la force électromotrice induite dans une spire, qui est un des facteurs du courant, varie en sens inverse de la résistance de l'ensemble des circuits, étant maximum à 45°, là où la résistance en question est aussi maximum.

Eu égard à cette faible dépense d'énergie, on n'a pas effectué les essais dans la position II.

L'auteur explique la différence de production des étincelles dans les deux positions, par la polarité différente du balai O, au moment de l'interruption des courants de circulation étudiés plus haut.

Dans le cas d'un mouvement de rotation de droite à gauche, le balai O est négatif à l'interruption sur la position I, (voir fig. 7 et 8), et positif pour la position II (fig. 9 et 10). Il sem-

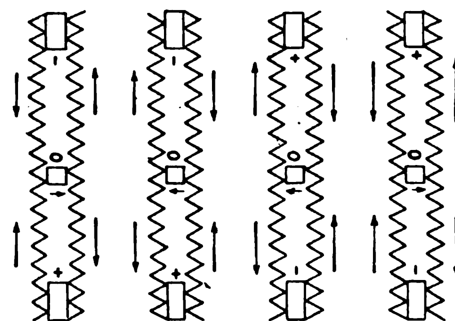


Fig. 7 à 10.

ble donc que l'on doive admettre, que la résistance de contact entre le balai et le collecteur est essentiellement variable avec la direction du courant.

Pour démontrer l'exactitude de l'hypothèse ci-dessus indiquée, l'auteur a effectué les expériences suivantes :

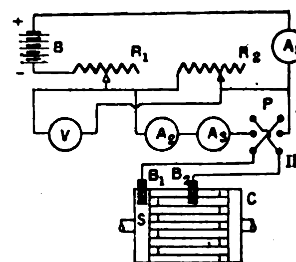


Fig. 11.

L'interrupteur (fig. 11), était constitué par un collecteur de dynamo, dont les lames étaient alternativement reliées à deux bagues.

Le circuit d'interruption comprenait, en série, un commutateur P à deux positions, l'interrupteur (collecteur C avec deux balais, l'un B, sur la bague S, l'autre B_2 sur le collecteur, ce dernier ayant une largeur inférieure à celle d'une

lame), deux ampèremètres, l'un A_3 à fil chaud donnant la valeur efficace du courant, l'autre A_2 du type Weston, donnant la valeur moyenne de ce courant : ce circuit était branché aux bornes d'une résistance R_2 en même temps qu'un voltmètre Weston ; une résistance R_1 disposée sur le circuit principal de la source de courant B (70 volts environ), servait au réglage de ce circuit, dont le courant était indiqué par un ampèremètre Weston A_1.

Le nombre d'interruptions par seconde étant 375, la formation des étincelles au collecteur était très différente suivant la polarité du balai B_2 : la quantité d'étincelles produites est indiquée dans le tableau suivant, par des nombres variant de 0 à 5, 0 représentant l'absence complète d'étincelles, et 5, des étincelles énormes sautant par dessus le balai. La résistance du court-circuit au repos était pour les balais de cuivre 0,36 ohm, et pour les balais en charbon, 0,39 ohm.

Les nombres du tableau I correspondent deux par deux, à des valeurs égales de R_2, mais à deux positions différentes (I et II) du commutateur P.

II. Fonctionnement de la dynamo chargée sur un seul pont. — Dans ce cas, les effets de la polarité de la machine se faisaient sentir dans le même sens que précédemment sur la formation des étincelles, quoique avec une intensité plus faible.

Mais une différence beaucoup plus importante dans la quantité d'étincelles se manifestait suivant que le pont chargé se trouvait en avant ou en arrière du balai O, dans la direction de la rotation de l'induit.

Dans le premier cas, la production des étincelles diminuait quand la charge augmentait, jusqu'à devenir nulle, et si alors on surchageait la machine, elle se manifestait de nouveau en augmentant peu à peu ; dans le second cas au contraire, elle augmentait très rapidement avec la charge.

Si on chargeait inégalement les deux ponts, la différence entre ces deux charges agissait absolument comme une charge sur un seul pont.

Ces phénomènes tiennent à deux causes, dont les effets se superposent.

D'abord, le champ développé par les courants induits agit dans le premier cas (charge sur le pont en avant du balai O), dans un sens tel, qu'il contribue à affaiblir le champ résultant sous le pôle, à l'endroit où est placé le balai O (fig. 12) ; le courant de court-circuit qui dépend de la demi-tension induite dans une spire en ce point, est par suite diminué dans la même proportion.

Au contraire, si la charge est en arrière du balai O, le champ de l'induit tend à renforcer le

Tableau I

N° de l'essai	Position de P	A_1 en ampères	A_2 en ampères	A_3 en ampères	V en volts	R_2 en ohms	Résistance apparente $R_3 = \frac{V}{A_2}$ en ohms	Formation d'étincelles
			a. Balais de cuivre.					
1	I	1,4	1,4	1,60	19,0	∞	13,6	1
	II	1,45	1,45	1,60	17,5		13,3	3
2	I	3,5	3,5	4,0	18,0	∞	5,1	2
	II	3,7	3,7	4,0	15,0		4,1	4
3	I	7,2	7,2	8,0	17,5	∞	2,4	3
	II	7,6	7,6	8,1	14,3		1,9	5
4	I	8,3	8,3	9,2	18,0	∞	2,2	4
	II	9,2	9,2	9,5	12,0		1,3	5
5	I	2,1	1,7	1,95	9,9	23,1	5,8	0 — 1
	II	2,1	1,75	2,0	9,2		5,3	1
6	I	3,6	2,15	3,5	11,5	23,1	3,7	1 — 2
	II	3,65	3,25	3,6	10,6		3,3	2 — 3
7	I	6,9	6,3	7,1	14,3	23,1	2,3	2
	II	7,0	6,45	7,1	13,3		2,1	4
8	I	9,2	8,5	9,5	15,0	23,1	1,8	3 — 4
	II	9,5	8,9	9,6	14,0		1,6	5
9	I	4,05	3,2	3,45	9,0	10,1	2,8	0 — 1
	II	4,05	3,2	3,45	8,9		2,8	1
10	I	7,7	6,4	7,4	13,0	10,1	2,0	2
	II	7,9	6,7	7,5	11,6		1,7	3 — 4
11	I	9,8	8,2	9,6	15,0	10,1	1,7	3
	II	10,2	8,8	9,8	13,5		1,5	4
12	I	5,85	3,4	3,8	3,2	1,37	0,94	0 — 1
	II	5,85	3,45	3,8	3,1		0,90	0 — 1
13	I	9,5	5,5	6,3	5,1	1,37	0,93	0 — 1
	II	9,5	5,5	6,3	5,0		0,91	0 — 1
14	I	14,4	8,2	9,45	7,4	1,37	0,90	1
	II	14,4	8,3	9,60	7,2		0,87	1 — 2
			b. Balais de charbon.					
1	I	3,8	3,8	3,9	16,5	∞	4,4	3
	II	3,9	3,9	4,0	15,0		3,8	4
2	I	8,1	8,1	8,5	15,5	∞	1,9	4
	II	8,35	8,35	8,65	14,0		1,7	5
3	I	5,5	4,25	4,7	11,0	8,4	2,6	1
	II	5,65	4,5	4,9	9,5		2,1	3
4	I	9,4	7,8	8,4	13,5	8,4	1,7	2 — 3
	II	9,6	8,2	8,7	12,2		1,5	3 — 4
5	I	8,5	4,3	5,1	7,0	1,74	1,6	0 — 1
	II	8,5	4,4	5,2	6,8		1,5	1
6	I	14,0	7,2	8,7	11,0	1,74	1,5	1
	II	14,1	7,8	9,05	10,3		1,3	2

champ principal sous le balai O, et le phénomène est inverse du cas précédent.

La seconde cause de la différence observée,

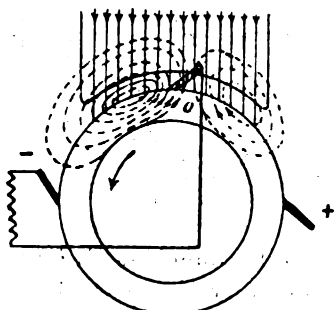


Fig. 12.

tient à la répartition du courant dans les enroulements.

Lorsque le balai O repose également sur deux lames, chaque enroulement fournit le même courant au circuit extérieur : mais dans chacun de ces enroulements, le courant de circulation se combine avec le précédent, et augmente le courant, résultant dans un enroulement tandis qu'il l'affaiblit dans l'autre.

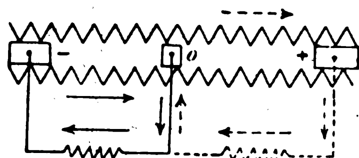


Fig. 13.

Si on se reporte à la figure 13, pour un sens de marche de droite à gauche, dans le premier cas (traits pleins), on voit que l'interruption se fait entre le balai O, et l'enroulement parcouru par le courant le plus faible (enroulement supérieur à l'instant représenté par la figure 13) ; à un moment donné, pendant l'augmentation de la charge, le courant de circulation compense le courant de charge, et il n'y a pas de courant dans le circuit interrompu, et par suite pas d'étincelles. Puis le courant résultant change de sens et augmente ensuite avec la charge.

On voit facilement que dans le cas de la charge en arrière, (traits pointillés de la figure 13), l'interruption se fait au contraire sur le circuit où le courant est le plus grand, ce qui concorde avec le résultat énoncé plus haut.

Le tableau II résume les résultats d'essais, faits avec deux balais de cuivre, puis deux balais de charbon ; on a observé que l'emploi simultané d'un balai de cuivre et d'un balai de charbon donnait de bons résultats.

Tableau II

N° de l'essai	Distance du balai θ au balai —	Courant en ampères		Tension en volts		Production d'étincelles
		— o	o +	— +	— o	
			a. Essais avec balais de cuivre.			
			1. Connexion II			
1	17°,5	0	0	110	15,1	0 — 1
2	»	100	0	»	14,1	0
3	»	200	0	»	13,5	0
4	»	300	0	»	12,5	0 — 1
5	»	0	90	»	18,7	1 — 2
6	25°,0	0	0	»	27,4	0 — 1
7	»	100	0	»	27,0	0
8	»	200	0	»	26,4	0
9	»	300	0	»	26,2	0 — 1
10	»	0	75	»	31,1	1
11	31°,5	0	0	»	36,4	1
12	»	100	0	»	36,1	0
13	»	200	0	»	36,1	0 — 1
14	»	300	0	»	37,0	0 — 1
15	»	0	70	»	40,0	2 — 3
16	38°,0	0	0	»	44,8	1
17	»	100	0	»	45,1	0 — 1
18	»	200	0	»	46,0	0
19	»	265	0	»	46,6	0 — 1
20	»	0	85	»	49,1	2 — 3
21	50°,5	0	0	»	62,9	0 — 1
22	»	80	0	»	63,9	0 — 1
23	»	145	0	»	65,0	0 — 1
24	»	0	65	»	66,7	3
25	57°,0	0	0	»	71.8	1
26	»	80	0	»	72,9	0
27	»	165	0	»	74,9	0
28	»	0	50	»	73,8	3
29	63°,0	0	0	»	81,1	0 — 1
30	»	80	0	»	82,7	0
31	»	150	0	»	84.1	0
32	»	0	40	»	82.3	2 — 0
			2. Connexion I			
1	19.0°	0	0	110	17.3	2 — 3
2	»	100	0	»	16.7	2
3	»	200	0	»	16.1	0 — 1
4	»	300	0	»	15,7	0
5	»	0	85	»	20.3	3
6	64,0°	0	0	»	82.7	3
7	»	40	0	»	83.8	2 — 3
8	»	80	0	»	84.3	2
9	»	0	100	»	85.7	4

N° de l'essai	Distance du balai O au balai —	Courant en ampères — o	Courant en ampères o +	Tension en volts — +	Tension en volts — o	Production d'étincelles
	b. *Essais avec balais de charbon.*					
	1. CONNEXION II					
1	38°,5	0	0	110	46,0	0
2	»	75	75	»	51,0	0
3	»	60	0	»	46,2	0
4	»	0	80	»	51,0	1 — 2
5	47°,5	0	0	»	58,0	0 — 1
6	»	75	75	»	62,8	0
7	»	75	0	»	58,6	0
8	»	0	65	»	63,0	1 — 2
9	49°,0	0	0	»	61,0	0
10	»	75	75	»	65,5	0
11	»	80	0	»	61,0	0
12	»	0	60	»	65,0	1 — 2
	2. CONNEXION I					
1	36°,0	0	0	110	57,0	1
2	»	75	0	»	56,7	0 — 1
3	»	0	65	»	62,0	2

L'auteur a étudié le fonctionnement du balai O, dans une dynamo à enroulement ordinaire, avec excitation très faible. Il a employé dans ce but une dynamo bipolaire Schuckert à anneau, type Z F 10, de 140 volts, 70 ampères.

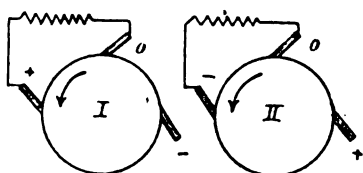


Fig. 14 et 15.

Dans la connexion I (fig. 14), les étincelles au balai O, très fortes à vide, disparaissaient complètement pour les charges et les excitations suivantes.

Charges en ampères . . .	55,0	65,0	80,0
Excitation en ampères . .	0,85	1,00	1,40

La charge du pont O —, augmentait considérablement les étincelles. Dans la connexion II, (fig. 15), la charge donnait les mêmes résultats, mais les étincelles à vide étaient notablement plus faibles, ce qui coïncide avec l'étude de la dynamo Weston précédente.

III. Emploi de la dynamo comme transformatrice de courant continu en courant continu. — La figure 16 représente le fonctionnement en transformatrice, avec la connexion II.

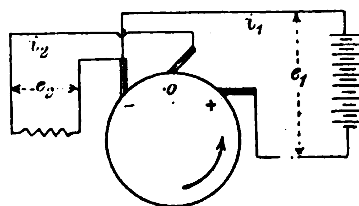


Fig. 16.

Ce mode d'emploi permet d'étudier facilement les pertes dans le cuivre, relatives au fonctionnement en charge sur un seul pont. Les pertes dues au fer et aux frottements se mesurent par un essai à vide. La perte dans le cuivre se déduit de l'étude de la répartition des courants dans l'armature.

Lorsque le balai O repose sur une seule lame,

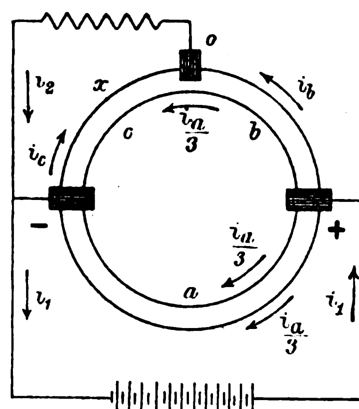


Fig. 17.

(fig. 17), si on désigne par r la résistance d'un enroulement entre deux balais, et par $R = \frac{r}{4}$ la résistance totale de l'induit, par x la résistance d'un enroulement entre les balais, O et —, on a les relations

$$i_b + i_c = i_2$$
$$i_a + i_b = i_1$$
$$\frac{i_a . r}{3} = i_b(r - x) - i_c x$$

d'où l'on tire

$$i_a = \frac{3}{4}\left(i_1 - \frac{x}{r} i_2\right)$$
$$i_b = \frac{3}{4} \frac{x}{r} i_2 + \frac{1}{4} i_1$$
$$i_c = i_2 \frac{4r - 3x}{4r} - \frac{1}{4} i_1 .$$

Lorsque le balai O repose sur l'autre enroulement, il y a interversion de ces valeurs, et il en résulte les oscillations suivantes du courant :

Dans la partie *b*, entre les balais O et +, le courant varie de $\frac{i}{3}$ à i_b, la valeur absolue de la variation étant ainsi $\frac{x}{r} i_2$.

Dans la partie C entre les balais — et O, le courant varie de

$$\frac{i_a}{3} \text{ à } - i_c ,$$

la variation étant en valeur absolue $\frac{x-r}{r} i_2$.

Dans la partie *a*, il n'y a pas de variations.

Les pertes dans le cuivre dépendent de la loi de ces variations, loi qui n'est pas connue. L'auteur les calcule dans deux hypothèses différentes :

1° *Variation sinusoïdale entre le minimum et le maximum.* — Le courant peut se mettre sous la forme

$$i = i' + i'' \sin \alpha .$$

Dans cette hypothèse les pertes dans le cuivre sont données par

$$M(i^2) = i'^2 + \frac{1}{2} i''^2$$

soit ici, pour la partie *a*

$$\frac{r}{8}\left(i_1 - \frac{x}{r} i_2\right)^2,$$

pour la partie *b*

$$+ 2(r-x)\left[\frac{1}{16}\left(i_1 + \frac{x}{r} i_2\right)^2 + \frac{1}{2} \cdot \frac{4}{16}\left(\frac{x}{r} i_2\right)^2\right],$$

pour la partie *c*

$$+ 2x\left[\frac{1}{16}\left(i_1 - \frac{2r-x}{r} i_2\right)^2 \frac{1}{2} \cdot \frac{4}{16}\left(\frac{r-x}{r} i_2\right)^2\right],$$

soit en tout, après calculs faits

$$a'_k = 0{,}25 r i_1^2 + x\left(0{,}75 - 0{,}5\frac{x}{r}\right) i_2^2 - 0{,}5\, x\, i_1 i_2 .$$

2° Loi de variation représentée par des rectangles. (Le courant i_c passe brusquement d'un enroulement à l'autre)

On a alors

$$a_k'' = 3r\frac{1}{16}\left(i_1 - \frac{x}{r} i_2\right)^2 + (r-x)\frac{1}{16}\left(i_1 + \frac{3x}{r} i_2\right)^2 + x\frac{1}{16}\left(i_1 - \frac{4r-3x}{r} i_2\right)^2 .$$

d'où

$$a_k'' = 0{,}25\, r i_1^2 + x\left(1 - 0{,}75\frac{x}{r}\right) i_2^2 - 0{,}5\, x\, i_1 i_2 .$$

Le tableau III résume tous les résultats du fonctionnement en transformatrice : l'excitation constante était de 5 ampères ; $r = 0{,}048$ ohm.

Remarquer que dans le i, qui intervient dans les formules, il faut déduire les 5 ampères d'excitation. Le balai O était composé de deux balais en cuivre.

Le nombre de tours mesurés dans les essais de 1 à 18, sont plus élevés, et dans les essais 19-21, plus faibles, que les valeurs correspondantes aux forces électro-motrices à vide : le rapport à vide entre le nombre de tours et la force électro-motrice pour 5 ampères d'excitation, étant 6, 3.

On remarquera aussi que c'est l'hypothèse de variations brusques (rectangles) qui coïncide le mieux avec les résultats déduits des essais : la coïncidence est moins bonne dans les essais 19-21, ce qui est probablement dû à ce que dans cette connexion, l'enroulement à force électromotrice plus élevée est parcouru, en plus du courant total, par un courant de circulation (voir plus haut).

Conclusion. — Au point de vue pratique, on peut employer la dynamo à enroulement Weston, étudiée plus haut pour distribution à trois fils, avec balais en charbon, si les différences de charge ne dépassent pas 20 p. 100. Seulement il faut remarquer que pour le réglage de la tension entre les deux ponts, il est nécessaire de faire varier la position du balai O.

L'emploi de la dynamo semble plutôt recommandable, comme transformatrice de courant continu en courant continu, surtout si les variations de la charge sont modérées, et si la machine peut être spécialement construite pour une charge donnée.

Enfin à un autre point de vue, des essais de ce genre peuvent conduire à des aperçus inté-

TABLEAU III

N° DE L'ESSAI	DISTANCE du balai θ au balai —	COURANT EN ampères i_1	i_2	TENSION EN volts e_1	e_2	CHARGES EN watts A_1	A_2	PERTES D'ÉNERGIE en watts y compris l'excitation	PERTES dans le cuivre induit en watts $a'k$	$a''k$	PERTES TOTALES en watts, calculées a'	calculées a''	observées $a = A_1 - A_2$	RENDEMENT OBSERVÉ en p. 100	TOURS PAR MINUTE	ÉTINCELLES
1	34°,7 $x = 0,0185\ \Omega$	58,2	99,0	134,0	49,7	7,800	4,920	2 640	85	110	2 725	2 750	2 880	63,0	854	0
2		131,0	296,0	125,0	44,0	6,390	13,000	2 400	760	1 010	3 160	3 410	3 390	79,4	833	1
3		194,0	468,0	118,0	39,0	22,900	18,250	2 240	1 870	2 420	4 110	4 660	4 650	79,7	823	2 — 3
4	37°,9 $x = 0,0202\ \Omega$	45,0	58,4	135,0	56,6	6,100	3,300	2 690	35	45	2 725	2 735	2 800	54,1	865	0
5		119,0	238,5	126,8	50,4	15,100	12,000	2 430	500	670	2 930	3 100	3 100	79,5	840	1
6		158,8	334,2	122,0	48,1	19,370	15,700	2 320	985	1 310	3 305	3 630	3 670	81,1	830	2
7		129,0	262,0	125,6	50,7	16,200	13,280	2 400	605	810	3 005	3 210	2 920	82,0	834	0
8		161,:	340,0	121,9	47,0	19,630	16,300	2 320	1 015	1 355	3 335	3 675	3 330	83,0	831	0 — 1
9		209,1	450,6	116,4	44,1	24,360	19,860	2 210	1 785	2 375	3 995	4 585	4 500	81,5	827	1
10	41°,0 $x = 0,0219\ \Omega$	145,1	270,0	124,0	54,0	18,000	14,570	2 370	645	860	3 015	3 230	3 430	81,0	830	1
11		177,7	342,0	120,0	51,5	21,300	17,600	2 280	1 025	1 275	3 105	3 550	3 700	82,6	820	2
12		183,5	354,3	119,0	50,8	21,820	18,000	2 240	1 110	1 485	3 350	3 725	3 820	82,5	814	2 — 3
13	44°,2 $x = 0,0236\ \Omega$	115,5	190,0	127,0	62,5	14,680	11,870	2 440	330	440	2 770	2 880	2 810	80,8	836	0
14		153,6	167,5	122,8	59,1	18,850	15,800	2 330	750	965	3 080	3 295	3 050	83,8	821	1
15		208,5	378,3	116,0	54,4	24,200	20,550	2 180	1 290	1 720	3 470	3 900	3 650	85,0	808	1 — 2
16		210,5	377,0	115,0	55,0	24,200	20,750	2 140	1 300	1 730	3 440	3 870	3 450	85,8	791	1
17	47°,4 $x = 0,0253\ \Omega$	70,8	93,0	132,2	70,5	93,370	6,560	2 560	80	110	2 640	2 670	2 810	70,0	820	0
18		208,9	352,5	116,1	58,1	24,250	20,450	2 180	1 130	1 500	8 310	8 680	3 800	84,3	800	2 — 3
	Charge du pont o +															
19	44°,2 $x = 0,0244\ \Omega$	106,1	168,0	128,0	60,1	13,600	10,100	2 400	260	345	2 660	2 745	3 500	74,3	770	2
20		168,9	300,0	120,8	54,3	20,400	16,300	2 170	815	1 085	2 985	3 255	4 100	80,0	705	3
21		192,1	344,5	117,9	52,9	22,650	18,200	2 100	1 065	1 420	3 165	5 520	4 450	80,4	683	4 — 5

ressants sur la question délicate des étincelles dans les dynamos ordinaires. A. M.

MESURES

Emploi du tube de Braun pour les mesures de puissance et la représentation des courbes d'hystérésis, par **L. Kallir.** *Zeitschrift für Elektrotechnik,* t. XVIII, p. 138, 18 mars 1900.

Le tube de Braun est très commode pour représenter une intensité ou une tension périodique. Le courant alternatif passant dans une bobine voisine du tube, dévie le faisceau cathodique d'une quantité proportionnelle à sa propre intensité, et sur un écran fluorescent il se produit une bande lumineuse dont la longueur est proportionnelle au maximum de l'intensité. Si on veut connaître l'intensité moyenne ou effective, il faut s'arranger de telle sorte que les déviations correspondant aux divers instants, ne se superposent pas. A cet effet, Braun s'est servi d'un miroir tournant, Zenneck, d'une bobine auxiliaire agissant sur le faisceau cathodique et dont le champ est perpendiculaire à la première ; Wehnelt photographie l'image de la tache fluorescente sur des plaques mobiles.

Dans la mesure des puissances avec le tube de Braun, un mouvement auxiliaire est inutile. On peut lire directement la valeur moyenne de l'image.

1. *Représentation et mesure des puissances.*

Sur le faisceau cathodique agissent deux bobines dont les axes sont perpendiculaires entre eux et un tube. L'une S_1, est parcourue par le courant I de l'appareil dont on mesure la puissance E_1, l'autre S_2 est branchée aux bornes de l'appareil et est traversée par un courant i proportionnel à la tension Δ.

Supposant les courants sinusoïdaux on a

$$\Delta = \Delta_{max} \sin \omega t$$
$$I = I_{max} \sin (\omega t - \varphi).$$

Le champ F_1 de la bobine S_1 est

$$F_1 = CI_{max} \sin (\omega t - \varphi).$$

Le courant i est en retard sur Δ à cause de la self-induction de la bobine S_2. Si la résistance R

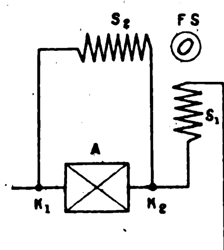


Fig. 1.

est petite et la réactance $L_2\omega$ très grande, le retard de i sera voisin de $\frac{1}{4}$ de période et le champ de la bobine S_2 sera

$$F_2 = C_2 i = c_2 \Delta_{max} \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right).$$

Sous l'action des deux champs, la tache lumineuse décrit une courbe sur l'écran FS : dans le cas actuel on a une ellipse (fig. 2 a). L'abcisse

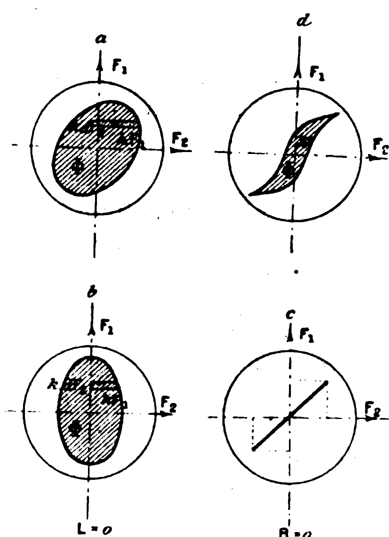


Fig. 2.

de chaque point est proportionnelle au champ F_1 et l'ordonnée au champ F_2. Soit K la constante de proportionnalité. La petite surface ombrée a pour valeur

$$\begin{aligned} d\Phi &= K^2 F_1 dF_2 \\ &= K_2 C_1 I_{max} \sin(\omega t - \varphi) C_2 \Delta_{max} \omega \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) dt \\ &= C I_{max} \Delta_{max} \sin(\omega t - \varphi) \sin \omega t\, dt. \end{aligned}$$

La surface totale est donc

$$\begin{aligned} \Phi &= \int_0^\pi C I_{max} \Delta_{max} \sin(\omega t - \varphi) \sin \omega t\, dt \\ &= C_0 I_{max} \Delta_{max} \cos \varphi. \end{aligned}$$

autrement dit elle est proportionnelle à la puissance moyenne

Comme cas particulier, si l'appareil d'utilisation est non inductif, I et Δ sont en phase et par suite I et i décalés de $\frac{\pi}{2}$. On obtient alors un champ tournant et l'image sera une ellipse dont les axes coïncident avec les directions F_1 et F_2 (fig. 2 b). Quel que soit le sens dans lequel cetté ellipse est parcourue, le produit F_1 et F_2 a toujours le signe $+$. Le travail est constamment positif. On peut ainsi étalonner l'appareil en se servant d'une résistance non inductive r connue et en mesurant le courant I. 1 watt est représenté par la surface

$$\varphi_0 = \frac{\Phi}{I^2 r}.$$

Si l'appareil A est purement inductif I et Δ sont décalés de $\frac{\pi}{2}$, donc I et i de π. L'image décrit une ligne droite (fig. 2 c) : comme on devait s'y attendre la surface est nulle. Cette expérience sert à vérifier s'il est bien exact que Δ et i sont décalés d'un quart de période.

Si le courant et la tension ne sont pas sinusoïdaux, la puissance est encore mesurée par la surface. Soit

$$\begin{aligned} \Delta &= \Sigma \Delta_n \sin(n\omega t - \psi_n) \\ I &= \Sigma I_n \sin(n\omega t - \varphi_n). \end{aligned}$$

On a alors

$$F_1 = C_1 \Sigma I_n \sin(n\omega t - \varphi_n)$$

$$F_2 = C_2 \Sigma \frac{1}{n} \Delta_n \sin\left(n\omega t - \psi_n - \frac{\pi}{2}\right)$$

$$d\Phi = K^2 F_1 dF_2 = K^2 C_1 \Sigma I_n (\sin n\omega t - \varphi_n) C^2 \omega \Sigma \Delta_n \cos\left(n\omega t - \psi_n - \frac{\pi}{2}\right) dt$$

$$\Phi = C_0 \Sigma I_n \Delta_n \cos(\varphi_n - \psi_n).$$

La surface Φ est encore proportionnelle à la puissance.

En employant le dispositif de la figure 1 on commet une erreur : le courant de S_1 est égal à celui de l'appareil augmenté du courant i. On peut compenser la déviation produite par i, lors de son passage en S_1, en faisant passer i dans une troisième bobine S_3 et disposée de telle

sorte que son action annule celle du courant i de S_1.

2. *Mesure des puissances dues à l'hystérésis.* — Si l'appareil d'utilisation est un anneau de fer avec un bobinage de faible résistance, l'hystérésis consomme à peu près seule le travail et la courbe de l'écran fluorescent à la forme d'une courbe d'hystérésis. Les abcisses sont en effet proportionnelles au courant magnétisant, par suite à la force magnétisante, les ordonnées sont proportionnelles au nombre z des lignes de force de la bobine S_2 on a

$$\Delta = c \frac{dz}{dt}.$$

D'autre part si on appelle Z le nombre des lignes de force de l'anneau.

$$\Delta = C \frac{dZ}{dt}$$

Donc

$$dZ = c_0 \, dz.$$

On obtient donc une courbe d'hystérésis (fig. 2 *d*).

Si on étalonne l'appareil au moyen d'une résistance non inductive, on déduit de la surface de la courbe d'hystérésis, toute la puissance perdue dans le noyau de fer et en divisant par le volume on a la perte par cm^3.

III. *Autre méthode pour représenter les courbes d'hystérésis.* On soumet le rayon cathodique à l'action de deux champs rectangulaires ; l'un est produit par le fer même que l'on étudie et la déviation correspondante est par suite proportionnelle à B, l'autre est produit par le courant magnétisant et donne une déviation proportionnelle à H.

Le dispositif simple de la figure 3 a l'inconvénient d'exiger une bobine S_1 beaucoup plus longue que le fer à étudier pour produire dans ce dernier une induction uniforme. Cette induction uniforme s'obtient plus facilement avec le dispositif de la figure 4 : le fer à essayer reçoit la forme d'un anneau ouvert pour laisser passer le tube cathodique. On règle la grandeur de la déviation produite par S_1 en faisant varier le nombre de pôles ; de même on règle la déviation produite par S_2 en éloignant, en approchant S_2 du tube.

IV. *Dispositif expérimental pour représenter les courbes d'hystérésis.* On peut actionner le tube de Braun soit avec une machine à influence, soit avec une bobine de Rhumkorff. Dans le premier cas, les décharges sont continues et la tache fluorescente décrit une courbe continue, inégalement éclairée, car les parties tombantes de la courbe sont parcourues plus rapidement et par suite moins lumineuses que les pointes.

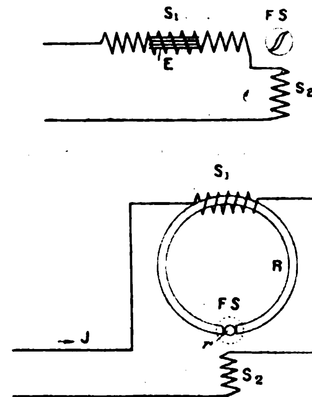


Fig. 3.

En employant une bobine, les décharges se font avec la fréquence des interruptions. Si c'est la même fréquence que celle du courant alternatif, on obtiendra sur l'écran non pas une courbe mais un point, qui est toujours à une certaine distance de sa position de repos ; la déviation est déterminée par le moment de la période où se produit l'interruption, si le nombre des interruptions est un peu différent de la fréquence du courant, le point lumineux se déplace avec une vitesse qui dépend de la différence des fréquences. Comme l'écran reste fluorescent quelque temps après avoir été impressionné, la courbe apparaît pâle avec un point brillant qui la parcourt. E. B.

Inscription électrostatique et inscription électrochimique des courants électriques, par **P. Grützner**. *Dr. Ann.* t. I, p. 738-758, avril 1900.

L'auteur compare à la méthode d'inscription électrostatique décrite par König récemment la méthode électrochimique que lui-même emploie depuis 1885. Ce dernier procédé consiste à envoyer le courant dans deux électrodes de platine appuyant légèrement sur une feuille de papier

imprégné d'iodure de potassium amidonné [1].

Il estime qu'on réussit ainsi à enregistrer des courants plus faibles et que les tracés sont plus réguliers que ceux obtenus par la méthode électrostatique : les exemples de tracés qu'il reproduit sont à vrai dire bien nets. M. L.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

ACADÉMIE DES SCIENCES

Séance du 25 juin 1900.

Sur la discontinuité de l'émission cathodique, par **P. Villard**. *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 1750-1753.

Dans des recherches, faites il y a un an environ au Laboratoire de Physique de la Faculté de Médecine, l'auteur a établi que l'émission cathodique d'un tube de Crookes est un phénomène discontinu, aussi bien dans le cas où l'on se sert d'une machine statique qu'avec la bobine de Ruhmkorff ordinaire ou un transformateur.

I. *Cas des courants alternatifs.* — Le tube de Crookes est mis en activité par le courant secondaire d'une bobine d'induction dont le primaire est parcouru par un courant alternatif. L'anode est placée dans un tube latéral étroit, ce qui arrête l'une des alternances. Le faisceau cathodique traverse un diaphragme à ouverture étroite et donne sur la paroi de l'ampoule une tache fluorescente très nette et de petites dimensions (de 1 mm à 4 mm).

Un champ tournant, produit au moyen d'une dérivation du courant primaire (42 périodes), dévie le faisceau et tend à faire parcourir à la tache fluorescente un arc de circonférence correspondant à la fraction de période pendant laquelle le tube fonctionne. Si l'émission cathodique était continue, la périodicité du phénomène, jointe à la persistance des impressions, ferait voir l'arc de circonférence en question comme un ruban lumineux continu et fixe. On observe au contraire une série de taches lumineuses distinctes, en nombre variable avec l'état du tube, paraissant quelquefois fixes pendant plusieurs secondes, et distribuées circulairement. L'émission cathodique est donc discontinue ; elle se compose d'une série d'émissions partielles également déviées, c'est-à-dire à potentiel constant ; ces décharges successives sont d'autant plus nombreuses, et occupent par suite une fraction d'autant plus grande de la demi-période utile, que le tube est moins résistant.

Chaque tache lumineuse correspondant à une décharge partielle est allongée dans le sens de la rotation du champ : elle présente des appendices indiquant qu'au début et à la fin de l'émission les rayons sont plus déviés qu'au milieu. Ceux du début sont les moins intenses.

La courbe figurative du potentiel de décharge pour une demi-période présenterait donc un palier correspondant à l'ensemble des émissions, avec une légère surélévation pour chaque groupe de rayons.

II. *Cas d'une bobine à interrupteur.* — Le tube est disposé comme précédemment ; les interruptions du courant primaire (source continue) de la bobine sont produites par un diapason dont la période soit un sous-multiple de celle du champ tournant. Les taches lumineuses produites par les décharges paraissent ainsi immobiles. La forme de chacune de ces taches est la même que précédemment.

Dans ces expériences le champ n'était pas assez intense pour dissocier chaque décharge partielle. Mais les travaux de M. Birkeland nous apprennent que cette dissociation donnerait un spectre cathodique discontinu. Les rayons inégalement déviables étant émis successivement d'après ce qu'on vient de voir, M. Villard en conclut que chaque décharge partielle est elle-même formée de plusieurs décharges distinctes, de durée inappréciable, dont chacune correspond à une chute de potentiel particulière.

III. *Cas de la machine statique.* — Avec une machine statique, munie ou non d'un condensateur, la décomposition du courant se produit comme avec l'alternatif, à cela près que les taches

[1] Cf. Janet. *Soc. franç. de phys.*, 1894, p. 192.

lumineuses sont régulièrement distribuées sur toute une circonférence. Le résultat est le même si le tube est relié seulement à un condensateur chargé [1]. La fréquence des décharges dépend de l'état du tube et surtout de la surface de l'anode.

L'absence de périodicité rend difficile l'analyse de chaque décharge, mais un autre phénomène se manifeste, qui n'est pas sans intérêt. La machine munie d'un condensateur étant en activité, si l'on vient à l'arrêter, l'émission cathodique cesse au bout de quelques instants, mais le condensateur reste chargé. Si l'on accélère au contraire la rotation des plateaux, il arrive un moment où le condensateur se décharge brusquement dans le tube, avec un bruit sec. L'émission qui se produit alors donne des rayons plus déviables, c'est-à-dire moins énergiques qu'auparavant, et même si la capacité du condensateur est grande (1000 U.C.G.S. par exemple), toute fluorescence de l'ampoule disparait et le gaz résiduel s'illumine en masse.

L'émission cathodique régulière, à potentiel constant, apparaît ainsi comme analogue à l'aigrette qui se produit à l'air libre entre les boules trop écartées d'un excitateur. La déperdition qui en résulte empêche que le potentiel explosif ne soit atteint, mais ne décharge pas un condensateur relié à la machine. Le second mode de décharge est au contraire comparable à l'étincelle disruptive.

***Sur le télégraphone*, par V. Poulsen.** *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 1754-1755.

Dans cette note, présentée par M. Mascart, l'auteur indique le principe du télégraphone, appareil décrit récemment dans ce journal (t. XXXII, p. 397, 16 juin [2]). D'après cette note, l'idée du dispositif permettant la téléphonie en duplex est due à M. Pedersen, assistant de M. Poulsen.

***Sur le développement et la propagation de l'onde explosive dans des mélanges contenant de l'acétylène*, par H. Le Chatelier.** *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 1755-1758.

Dans ces recherches, l'auteur s'est servi de la méthode photographique; il a opéré sur des mélanges d'acétylène avec l'oxygène ou l'oxyde azoteux ou l'oxyde azotique ainsi que sur des mélanges d'oxyde de carbone et d'oxygène.

1° *Développement de l'onde explosive.* — Les mélanges d'acétylène et d'oxygène allumés avec une étincelle électrique prennent immédiatement des vitesses de propagation de la flamme très grandes, de plusieurs centaines de mètres par seconde, et cette vitesse s'accélère rapidement jusqu'à dépasser un millier de mètres; puis l'onde explosive caractérisée par une vitesse plus grande encore et rigoureusement uniforme prend brusquement naissance [1].

Dans le cas des mélanges d'acétylène enfermés dans un tube de 10 mm de diamètre et allumés avec une étincelle électrique, l'onde explosive a spontanément pris naissance après les parcours suivants de la flamme :

$2C^2H^2 + O^2$ . .	1 m	$C^2H^2 + 2AzO$ . .	0,20 m
$C^2H^2 + O^2$ . .	0,05 »	$C^2H^2 + 6AzO$ . .	0,50 »
$C^2H^2 + 6O^2$.	0,15 »	$C^2H^2 + 2Az^2O$.	1 »
$C^2H^2 + 10O^2$.	0,80 »	$C^2H^2 + 6Az^2O$.	0,10 »

Il n'y a, dans aucun cas, continuité entre la période variable et l'onde explosive. Celle-ci prend naissance à une certaine distance en avant de la flamme à vitesse variable, à 0,05 m dans le mélange $C^2H^2+O^2$. Ce fait est accusé par un ressaut de la courbe photographique enregistrée, le prolongement de la droite correspondant à l'onde vient couper la ligne courbe correspondant à la vitesse variable un peu avant son extrémité. Dans cette période variable, la flamme

(1) Ce mode assez singulier d'excitation du tube a été indiqué par M. H. Buisson.

(2) Il a été dit dans cet article que l'appareil est exposé à la section néerlandaise; c'est à la *section danoise* qu'il se trouve.

(1) Le phénomène initial est tout différent de celui que l'on observe avec les mélanges d'hydrogène, de sulfure de carbone dans lesquels la vitesse initiale ne dépasse pas une trentaine de mètres. En remplaçant dans les mélanges d'acétylène l'oxygène par du protoxyde ou du bioxyde d'azote, l'allure générale n'est pas sensiblement modifiée. Dans le cas des mélanges d'oxyde de carbone et d'oxygène, l'inflammation par une étincelle donne des vitesses initiales très lentes, de quelques mètres par seconde seulement, trop lentes pour être enregistrées avec un dispositif expérimental dans lequel la plaque photographique se déplace à raison de 8,50 m par seconde. En allumant ce mélange avec une petite amorce de poudre chloratée on obtient de suite des vitesses d'un millier de mètres par seconde, mais cependant l'onde explosive n'arrive pas encore à prendre naissance; la vitesse limite encore variable se maintient aux environs de 1300 m par seconde.

est précédée d'une onde comprimée qui marche devant elle avec une vitesse égale, comme le font à la surface de l'écran les ondulations qui précèdent la proue d'un navire. Une fois l'onde explosive développée, les deux phénomènes se superposent, c'est-à-dire que le front de l'onde comprimée coïncide avec la tranche gazeuse en combustion, au lieu de la précéder.

Au point où l'onde explosive prend naissance la masse gazeuse devient immédiatement obscure et perd toute action photogénique par suite du refroidissement rapide consécutif de la détente ; cette masse sombre se promène ensuite de droite et de gauche dans le tube sous l'influence des mouvements vibratoires. Sur le parcours ultérieur de l'onde explosive, le même refroidissement ne se produit pas parce que chaque tranche gazeuse, avant de brûler, a reçu de la tranche précédente une quantité d'énergie égale à celle qu'elle cède à la suivante. Il n'y a que la première tranche qui se trouve dans des conditions différentes.

Vitesse de l'onde explosive. — Les mêmes expériences ont permis de mesurer la vitesse de l'onde explosive sur un chemin parcouru de 1 m seulement [1].

Mélanges limités. — L'onde explosive ne peut se propager dans tous les mélanges combustibles, il est intéressant de voir ce qui se passe dans les mélanges à la limite de propagation. C'est le cas, parmi les mélanges étudiés, des trois suivants :


$$C^2H^2 + 10O^2 \qquad C^2H^2 + 6AzO \qquad CO + O.$$

Pour les deux premiers l'onde explosive s'éteint de temps en temps au passage des coudes par exemple, ou des parties étranglées, et est remplacée par une propagation en vitesse variable notablement plus haute ; puis celle-ci s'accélère à nouveau et finit par régénérer l'onde explosive.

Les mélanges d'oxyde de carbone et d'oxygène ont présenté divers phénomènes intéressants. Ainsi l'onde explosive ne prend pas naissance spontanément ; par conséquent, elle ne se régénère plus une fois éteinte.

(1) Voici à titre d'indications quelques-uns des résultats obtenus ; ils n'ont pas la même précision que ceux de MM. Berthelot et Vieille obtenus avec des tubes d'un grand nombre de mètres de longueur.

$2C^2H^2 + O^2$ . .	2 160 m	$C^2H^2 + 2Az^2O$ . .	2 580 m
$1,5C^2H^2 + O^2$ . .	2 510 »	$C^2H^2 + 6Az^2O$ . .	2 400 »
$C^2H^2 + O^2$ . .	2 920 »		
$C^2H^2 + 3O^2$.	2 220 »		
$C^2H^2 + 4O^2$.	2 190 »	$C^2H^2 + 2Az^2O$ . .	2 850 »
$C^2H^2 + 6O^2$.	1 950 »	$C^2H^2 + 6Az^2O$ . .	2 800 »
$C^2H^2 + 10O^2$.	1 850 »	$CO + O$	1 900 »

Action des courants à haute fréquence sur la respiration élémentaire, par **Tripet**. *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 1785-1787.

L'auteur a étudié l'action des courants de haute fréquence sur l'activité de réduction de l'oxyhémoglobine, c'est-à-dire de l'activité des échanges entre le sang et les tissus [1].

(1) Voici les résultats et les conclusions de cette étude :

1° Dans trente-sept cas, les courants de haute fréquence ont augmenté l'activité de réduction de l'oxyhémoglobine, ce phénomène se traduisant particulièrement chez des malades à nutrition ralentie (rhumatismes, fibromes utérins, etc.) ;

2° Dans dix cas où, avant le traitement, l'activité de réduction était exagérée, les courants de haute fréquence avaient déterminé un abaissement de nature à rapprocher cette activité de la normale 1 ;

3° Dans six cas seulement où la déchéance organique continua son évolution, l'activité de réduction de l'oxyhémoglobine, malgré le traitement par les hautes fréquences, continua à baisser.

La conclusion qui s'impose est donc la suivante ;

a. Dans les maladies de la nutrition le traitement par les courants de haute fréquence (*Arsonvalisation*) est un *régulateur* de l'activité de réduction de l'oxyhémoglobine.

b. Chez les malades à activité au-dessous de la normale 1, il remonte cette activité et la maintient définitivement dans le voisinage de cette normale.

c. Dans les cas où cette activité était exagérée, dans le diabète par exemple, le traitement diminue cette activité et la fait redescendre à la normale 1.

d. Il est à remarquer que, presque toujours, il y a augmentation simultanée et parallèle de la proportion centésimale de l'oxyhémoglobine et de son activité de réduction ; de sorte que cette augmentation entre pour une part importante dans la régularisation de l'activité de la réduction.

Le Gérant : C. NAUD.

Tome XXIV. Samedi 14 Juillet 1900. 7e Année. — N° 28

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

L'EXPOSITION UNIVERSELLE

GROUPE ÉLECTROGÈNE A COURANTS DIPHASÉS DE 750 KILOWATTS DE LA MAISON J. FARCOT

La maison J. Farcot est une des rares maisons qui exposent un groupe électrogène construit complètement dans leurs ateliers; l'alternateur, comme le moteur à vapeur sortent en effet des ateliers de Saint-Ouen.

Dans son ensemble, le groupe électrogène Farcot constitue une des curiosités de l'Exposition électrique, car il fournit une des meilleures solutions d'un problème dont l'importance se fait de plus en plus sentir. Nous voulons parler du problème de la marche en synchronisme des alternateurs-volants attelés à des moteurs monocylindriques.

La question du fonctionnement en parallèle des alternateurs n'a pas cessé d'être étudiée depuis dix ans; à l'heure actuelle, avec les perfectionnements réalisés dans la construction et dans la conception des dynamos ordinaires à courants alternatifs, on en est venu à ne plus voir dans le problème du couplage des alternateurs modernes qu'une question d'ordre purement mécanique. On admet en général que la seule difficulté à réaliser est d'obtenir une constance suffisante de la fréquence, ou ce qui revient au même, du coefficient d'irrégularité du moteur à vapeur (rapport entre la variation de vitesse instantanée et la vitesse moyenne par tour).

La valeur du coefficient d'irrégularité exigée par la plupart des constructeurs électriciens est de 1/200 au maximum ; dans ces conditions l'importance du volant serait telle que les turbines, les moteurs jumellés, compound ou non, et les moteurs à détentes multiples pourraient seuls être employés avec succès pour la commande des alternateurs destinés à fonctionner en parallèle.

Et pourtant, d'autre part, sans vouloir faire ici une étude comparée des divers types

**

de machines à vapeur, nous pouvons néanmoins rappeler que les moteurs monocylindriques présentent dans certains cas des avantages incontestables. La consommation de vapeur par cheval indiqué en pleine charge y est en effet peu différente de celle consommée dans les moteurs à plusieurs détentes tandis que le rendement mécanique en est beaucoup meilleur par suite du plus petit nombre d'organes.

En outre, les machines monocylindriques ont ce grand avantage que leur consommation par cheval indiqué ne varie que très peu pour une grande variation de la puissance développée.

Il en résulte que l'emploi de ces machines est désirable pour la commande des alternateurs des stations centrales à cause de la variation assez considérable de puissance aux différentes heures de la journée, et de la nécessité de fournir les courants déwattés nécessaires à l'excitation des transformateurs à vide, courants qui limitent la puissance vraie débitée par les machines.

Enfin il ne faut pas oublier que l'obéissance du moteur à son régulateur, condition très importante dans le couplage en parallèle, est beaucoup plus complète dans les machines monocylindriques, puisque celui-ci agit sur la totalité de la détente, ce qui n'a pas lieu dans les moteurs à détentes multiples.

L'emploi des amortisseurs Hutin et Leblanc dont la maison Farcot est la seule concessionnaire en France a permis de faire disparaître la seule objection à l'emploi des moteurs monocylindriques dans les stations centrales à courants alternatifs avec marche en parallèle. Les succès obtenus au secteur des Champs Elysées (7 alternateurs de 600 kilovolts-ampères), et au secteur de la Société d'Eclairage et de Force à Saint-Ouen (4 alternateurs de 350 kilovolts-ampères), à la station centrale de Saumur, etc., constituent des arguments suffisamment concluants en faveur de ce système pour qu'il soit inutile d'insister plus amplement.

La marche en parallèle avec l'emploi des amortisseurs peut en somme être considérée comme parfaite même avec des coefficients d'irrégularité assez désavantageux en apparence (1/75 environ pour les alternateurs du secteur des Champs-Élysées), lorsqu'il s'agit d'éclairage.

La régularité est du reste encore augmentée avec des positions de bielles convenables par l'accouplement des machines par suite de la grandeur relative du couple synchronisant.

La question est un peu différente, et c'est ici qu'apparaît la nécessité d'employer des dynamos volants assez lourdes, lorsque les alternateurs alimentent des redresseurs de courant dont l'inertie est faible comme c'est le cas pour les transformateurs rotatifs de MM. Hutin et Leblanc, à l'alimentation desquels l'alternateur exposé est destiné.

Dans ce cas, la variation angulaire de l'alternateur doit avoir une valeur plus faible, sans néanmoins correspondre aux valeurs de 1/200 dont nous parlions plus haut.

Les moteurs monocylindriques sont encore ici très économiques, mais il convient alors de donner à la partie mobile un poids assez fort, nullement en rapport avec celui qui conviendrait à l'alternateur proprement dit. On est obligé pour ce faire : soit d'*habiller* la dynamo dans des proportions exagérées qui nuisent quelque peu à l'élégance de sa forme, soit d'adjoindre à l'alternateur un volant spécial, soit enfin d'employer un genre de dynamo utilisant complètement au point de vue magnétique la jante de poids imposé du volant. Les dynamos à flux ondulé sont tout indiquées pour ce dernier cas.

Au point de vue économique la dernière solution se rapproche de la première laquelle doit être préférée par suite de la plus grande simplicité et du peu de dépense d'excitation.

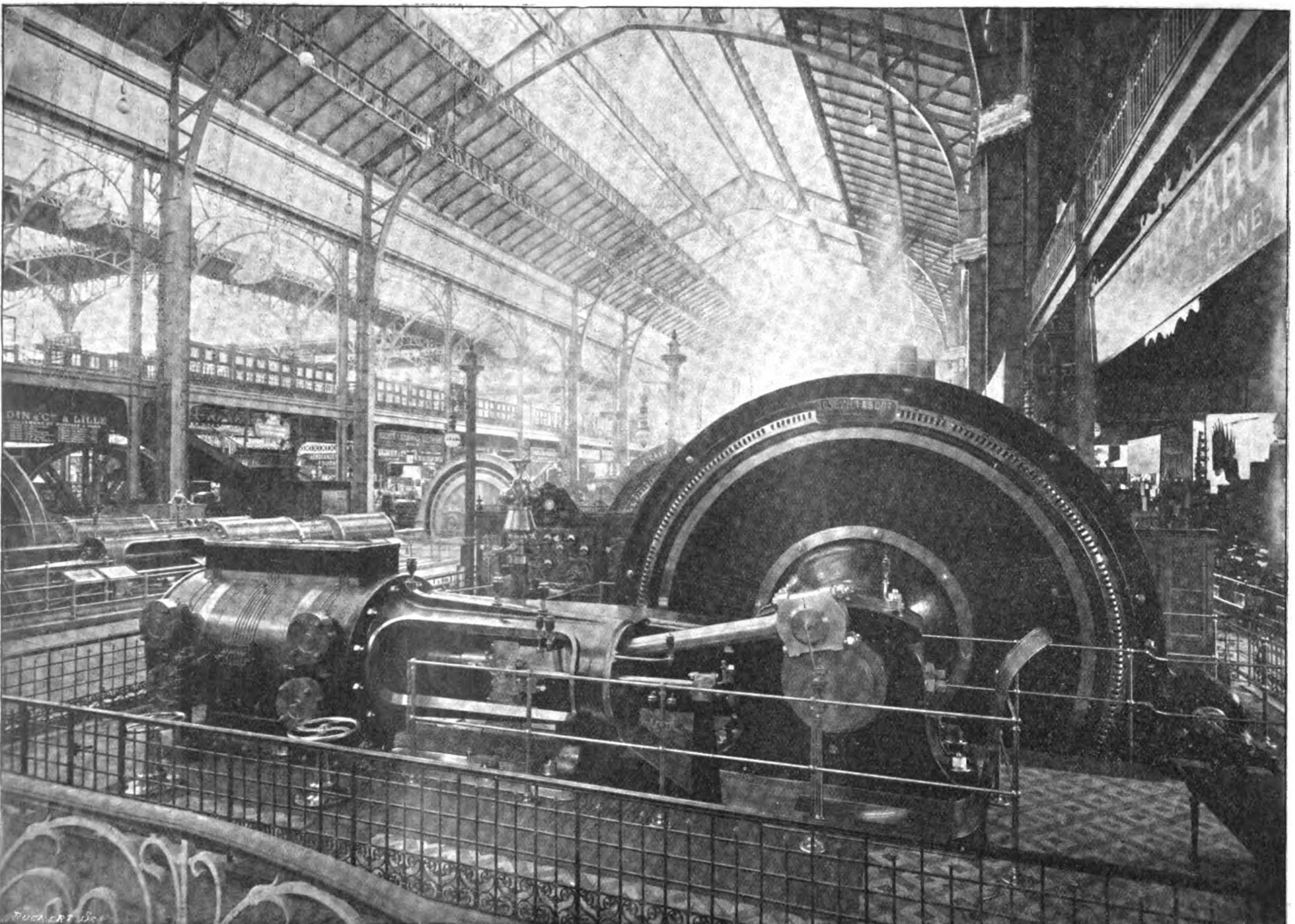


Fig. 1. — Groupe électrogène Farcot.

On a beaucoup écrit depuis dix-huit mois sur les dynamos à flux ondulé; et celles-ci n'ont en somme été qu'un intermédiaire dans le développement des alternateurs à pôles séparés.

La seule raison d'être des machines ordinaires à fer tournant est leur grande vitesse périphérique particulièrement commode pour obtenir une largeur de pôles suffisante dans les dynamos à grande vitesse angulaire; des vitesses linéaires de 35 à 40 m, étant employées maintenant dans les machines à pôles séparés grâce à l'adoption d'enroulement en conducteurs à section carrée ou en bandes de cuivre sur champ, ce genre de machine au point de vue électrique pur n'a donc plus de chance d'être employé que pour l'obtention de vitesse linéaire comprise entre 50 et 100 m par seconde.

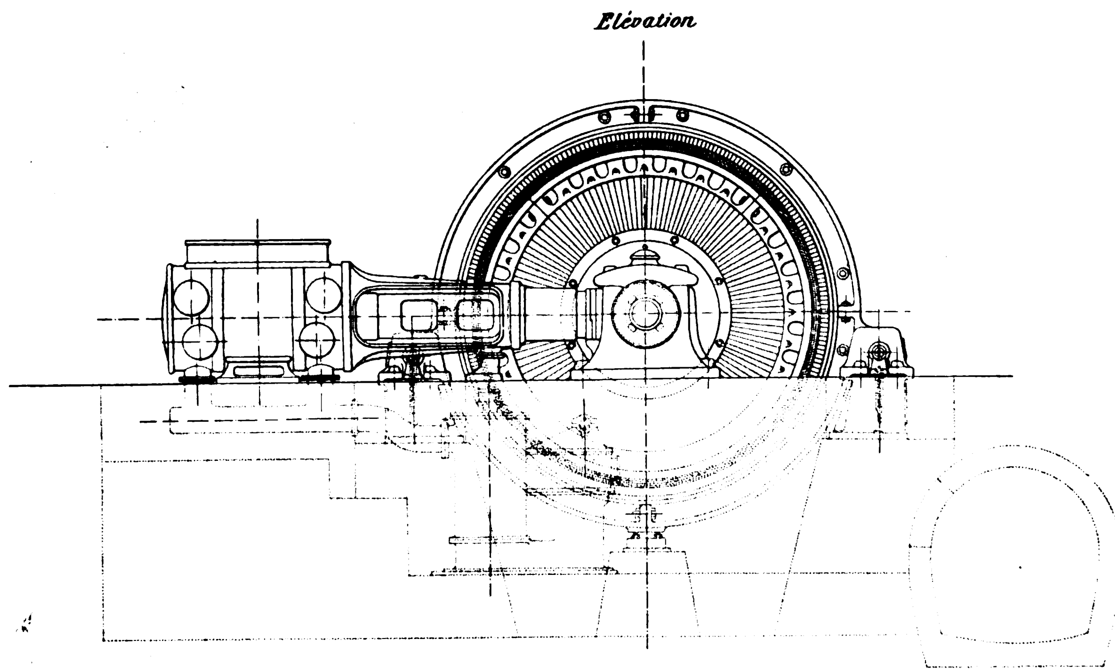


Fig. 2. — Groupe électrogène J. Farcot.

Au point de vue qui nous occupe, la dynamo de poids imposé, la question est tout autre; les inconvénients inhérents aux machines à fer tournant ordinaires et qui les ont fait abandonner si rapidement : forte induction dans l'entrefer et fuites magnétiques exagérées, n'ont plus de raison d'être. En construisant les machines à fer tournant dans lesquelles l'induction dans l'entrefer a la même valeur que dans les machines à pôles séparés, on n'a pas à craindre les effets d'attraction magnétique en cas d'entrefer dissymétrique qui ont été constatés dans les dynamos à fer tournant.

En adoptant dans le circuit magnétique inducteur, naturellement en fonte, une saturation très faible, on fait disparaître l'importance des fuites magnétiques.

Enfin la vitesse linéaire ordinaire des volants permet facilement et sans le moindre inconvénient l'emploi d'une bobine magnétisante mobile, disposition très commode pour le bobinage rapide de l'inducteur.

C'est cette solution, comme on le voit, assez originale qu'a adoptée la maison J. Farcot pour son alternateur diphasé.

Ces considérations posées, nous allons décrire l'ensemble du groupe en insistant

plus spécialement sur la dynamo et sur les particularités qu'elle présente au point de vue électrique.

Moteur a vapeur. — Le moteur à vapeur monocylindrique est du type normal de la maison J. Farcot et présente tous les perfectionnements de détails introduits par cette maison pendant ces dernières années.

La vitesse angulaire est de 78,5 tours par minute, le diamètre du piston est de 1 m et la course de 1,35 m. A la pression de 7 kg et à condensation la puissance du moteur est de 900 chevaux indiqués à 1/10 et de 1 300 à 2/10 d'introduction. A 3/10 d'introduction la puissance du moteur peut atteindre 1 600 chevaux indiqués.

Le régulateur est muni d'un écrou, vissé sur une tige filletée, et servant à obtenir un

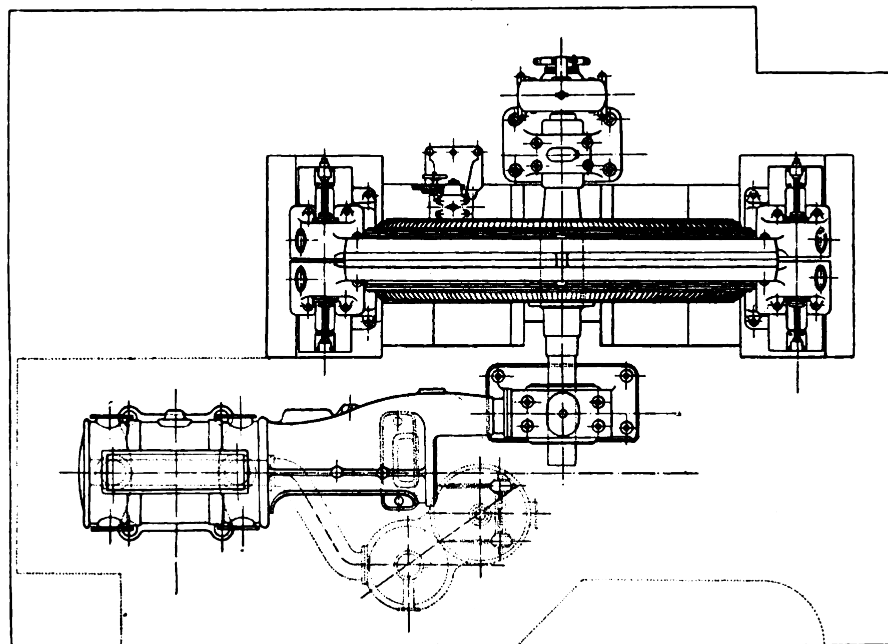


Fig. 3. — Groupe électrogène J. Farcot.

réglage continu de la vitesse pour la mise en synchronisme de l'alternateur avec les alternateurs en service et pour le réglage de la charge absorbée par la machine lorsque le couplage est effectué.

La figure 1 est une photographie et les figures 2 et 3 des vues de face et en plan du groupe complet.

Alternateur. — L'alternateur comme nous l'avons vu plus haut est à flux ondulé et à courants diphasés, nature de courants imposée par l'installation existante à l'agrandissement de laquelle le groupe est destiné.

La puissance est de 880 kilovolts-ampères avec un cos φ de 0,85.

La tension simple est de 2 200 volts et l'intensité du courant de pleine charge, 200 ampères par phase. La fréquence est de 42 périodes par seconde ce qui avec la vitesse de 78,5 correspond à 64 pôles, soit 32 saillies polaires par couronne inductrice.

Induit. — La carcasse de l'induit fixe se compose (fig. 4 et 5) de deux couronnes de fonte m_1 m_2 portant intérieurement les deux piles de tôles p_1 p_2 formant les circuits magnétiques de l'induit et serrées à l'aide de segments en fonte q_1 q_2.

Les faces en regard des deux couronnes sont munies de saillies n_1 n_2 dont le nombre est égal à celui des bobines de l'induit, 64, et qui ménagent entre elles des espaces permettant la ventilation de l'inducteur.

Chacun des deux induits porte un bobinage I_1 à courant alternatif simple formé de 64 bobines en série de dix spires chacun. Ces bobines sont divisées en deux de cinq spires et superposées; elles sont logées dans 64 encoches et isolées par des caniveaux en micanite. Les deux bobines logées dans chaque encoche sont séparées par une cale triangulaire en bois parafiné.

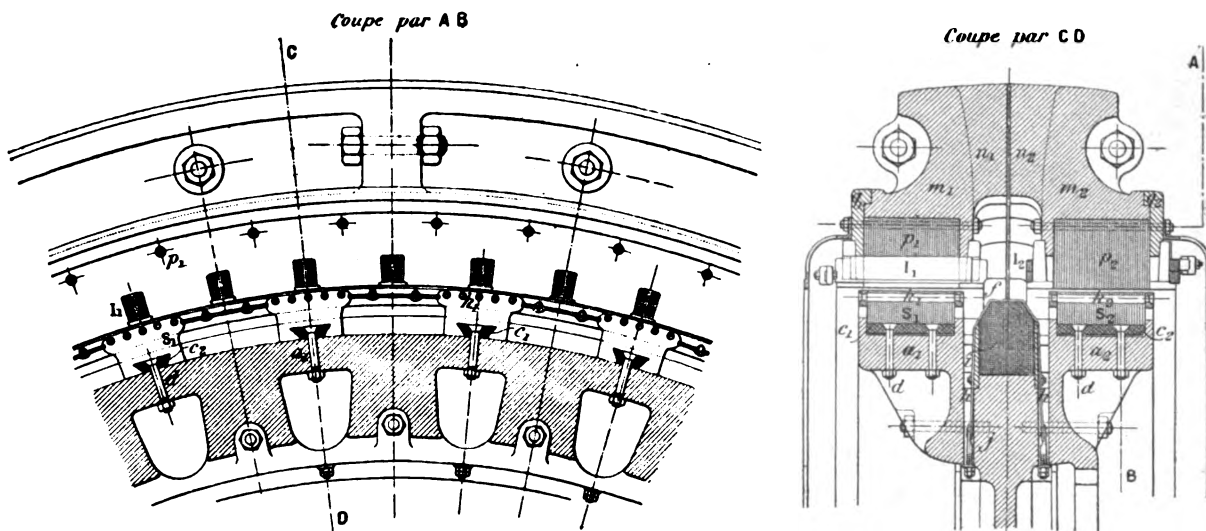


Fig. 4 et 5. — Détails de construction de l'alternateur J. Farcot.

La section de la bande de cuivre formant les bobines est de $3{,}5 \times 38$ ou 133 mm². La résistance de chaque induit est de 0,113 ohm à chaud.

Les deux enroulements induits sont décalés d'un quart de pôle, c'est-à-dire que les encoches de l'un correspondent au milieu des pôles induits de l'autre.

Les bobines sont connectées à l'aide de petits boulons et les connexions sont logées dans des petites boîtes en ébonite.

Les deux couronnes reposent sur deux bancs le long desquels elles peuvent coulisser successivement à l'aide d'un dispositif mécanique très simple composé d'une vis sans fin et de deux écrous qu'on rend ou non solidaires des couronnes à l'aide de cliquets.

Les saillies polaires des deux couronnes fixes ne sont pas en contact immédiat mais sont distantes de quelques millimètres de façon à éviter l'adhérence due au magnétisme rémanent, adhérence qui nécessiterait des efforts considérables pour le déplacement des deux induits.

Le diamètre extérieur de l'induit est de 6,80 m, le diamètre intérieur de 5,515 m. La largeur maxima de l'induit non compris deux protecteurs en bronze qui recouvrent les parties extérieures des bobines est de 98 cm, celles des tôles de chaque induit 30 cm.

Le poids total de la partie fixe atteint 60 000 kg.

Inducteur. — L'entrefer ayant 6,5 mm, le diamètre du volant atteint 5,50 environ.

Le circuit magnétique inducteur se compose de deux couronnes de fonte a_1 a_2, chacune en quatre morceaux, fixés sur la jante j du volant proprement dit.

Sur ces couronnes, sont rapportées les saillies polaires S_1 et S_2 en tôles feuilletées ; la fixation en est faite à l'aide de clavettes c_1 c_2 logées dans des encoches en queue d'aronde pratiquées dans les tôles et retenues par des boulons dont les écrous sont logés dans des niches e_1 e_2.

Ces tôles présentent une partie élargie voisine de l'entrefer et dans laquelle sont poinçonnées les rainures légèrement ouvertes dans lesquelles sont disposés les circuits amortisseurs.

La bobine inductrice centrale i est enroulée sur la jante à surface polygonale entre deux flasques b_1 b_2, portant des ailettes destinées à assurer une ventilation énergique de l'inducteur.

La bobine est retenue d'endroit en endroit par des étriers h h ; elle comporte 460 spires de fil de 7,5 mm de diamètre.

Sa résistance est de 3,5 ohms, et le courant qui la traverse en pleine charge de 50 ampères environ.

Le poids total du volant sans l'arbre est de 50 000 kg dont 3 000 seulement pour la bobine inductrice.

Pour annuler la ventilation due aux bras du volant on a serré le moyeu entre deux plaques en fonte que deux cloisons en acajou réunissent à la jante.

Amortisseurs. — Ceux-ci sont constitués par des boulons de cuivre k_1 k_2 de 28 mm de diamètre, rivés à leurs deux extrémités dans des segments également en cuivre.

Chaque saillie polaire comporte cinq boulons, en outre deux boulons identiques sont rivés aux segments dans chaque intervalle polaire et retiennent une plaque de cuivre qui empêche le sifflement de l'alternateur.

Nous avons dit plus haut que la dynamo bien qu'à courants diphasés n'avait qu'un seul enroulement sur chaque induit. Ce dispositif a été adopté pour obtenir le plein effet des amortisseurs dont nous allons maintenant expliquer le fonctionnement tant au point de vue de l'affaiblissement de la réaction d'induit qu'au point de vue du maintien du synchronisme, dans la marche en parallèle.

a. — Dans les dynamos à courants polyphasés avec enroulement polyphasé sur chaque induit, le flux dû aux courants de l'induit est un flux constant tournant dans l'espace avec la même vitesse que le flux inducteur et dans le même sens que lui, il est donc immobile par rapport aux circuits amortisseurs qui sont par suite sans aucune action sur lui.

Dans les induits à courant alternatif simple le flux dû au courant induit est au contraire un flux alternatif, lequel peut, comme l'ont montré MM. Hutin et Leblanc, se décomposer en deux flux tournant tous deux avec une vitesse égale à celle correspondant au synchronisme, mais en sens contraire.

Grâce à cette décomposition on voit que les ampères-tours alternatifs de l'induit peuvent être considérés comme résultant de la composition de deux forces magnétomotrices constantes de valeur égale, au facteur 4π près, à la moitié de la valeur maxima de ces ampères-tours alternatifs et tournant l'un dans le même sens que l'inducteur et avec la même vitesse, l'autre en sens contraire.

La première restera fixe par rapport à l'inducteur et par suite par rapport aux circuits amortisseurs ; le flux qu'elle produira n'induira donc aucune force électromotrice dans ces circuits et partant ne sera pas affecté par leur présence.

La seconde, au contraire, se déplaçant par rapport aux amortisseurs avec une vitesse

double de celle du synchronisme tendra à engendrer un flux induisant dans ces circuits des forces électromotrices de fréquence double de celle fournie par l'alternateur et qui produiront des courants donnant naissance à un nombre d'ampères-tours pratiquement égaux et opposés à ceux de la seconde force magnétomotrice considérée. En réalité la partie correspondante du flux induit sera sensiblement annulée, car il ne passera à travers les amortisseurs que le flux nécessaire pour produire la tension perdue dans la résistance ohmique de ceux-ci et qui sera aussi faible qu'on voudra.

Les ampères-tours inducteurs, outre la production du flux nécessaire pour avoir la tension aux bornes à vide dans l'induit, n'auront donc plus qu'à équilibrer les ampères-tours du premier champ tournant considéré en dehors bien entendu des fuites magnétiques.

L'explication précédente s'applique à tous les genres d'alternateurs à amortisseurs : à pôles séparés ou à flux ondulé. Toutefois avec les machines à flux ondulé on peut objecter que le flux de réaction d'induit a à passer à travers les masses pleines de la carcasse de l'induit et que par suite l'effet de l'amortisseur est diminué. En réalité cette objection n'aurait de valeur que si l'alternateur ne fournissait que des courants déwattés.

M. Blondel a en effet montré dernièrement tout l'intérêt qu'on pouvait tirer, au point de vue de la théorie des alternateurs, de la décomposition du courant induit en deux composantes, l'une en phase avec la force électromotrice induite, l'autre en quadrature avec celle-ci. Cette décomposition appliquée au flux induit montre que seul le flux *direct* dû au courant déwatté et maximum lorsque les pôles de l'inducteur sont en regard des bobines induites, suit le même chemin que le flux inducteur. Le flux *transversal*, de beaucoup le plus important lorsqu'il s'agit, comme c'est le cas ici, d'une machine avec un facteur de puissance élevé, est au contraire maximum lorsque les pôles inducteurs sont en face des encoches de l'induit et est par suite détruit par moitié uniquement par les circuits amortisseurs.

b. Outre l'action des amortisseurs sur la réaction d'induit, ceux-ci sont encore destinés à faciliter le couplage en parallèle tant au point de vue de la synchronisation initiale que de la stabilité du synchronisme.

Les amortisseurs constituent en effet à eux seuls l'induit d'un moteur ou d'une génératrice asynchrone; lorsque les alternateurs tendent à tomber hors de phase, les circuits amortisseurs réagissent fortement et la différence de vitesse instantanée est limitée à un faible glissement de l'un des alternateurs par rapport à l'autre, ce qui permet le raccrochage des machines.

L'emploi des amortisseurs pour le fonctionnement en parallèle des alternateurs actionnés directement a aussi pour effet d'augmenter la régularité de l'ensemble, par suite des couples puissants qui s'opposent aux variations instantanées de la vitesse pendant chaque tour.

Excitatrice. — Le courant d'excitation est fourni à l'alternateur par une excitatrice montée en bout d'arbre et pouvant faire 220 volts et 60 ampères.

Cette excitatrice est à six pôles avec enroulement série spécial permettant de disposer les deux lignes de balais aux extrémités d'un même diamètre.

Le diamètre de l'induit est de 750 mm, sa largeur de 450 mm. L'enroulement en fil de 5,2 mm de diamètre est logé dans 182 rainures, à raison de quatre fils par rainure.

L'entrefer est de 4 mm.

Tableau de distribution. — Le tableau de distribution est en marbre et disposé dans un corps en vieux noyer ciré.

Chaque moitié du tableau correspond à une phase de l'induit et comporte un électromètre, un ampèremètre, un wattmètre à lecture directe Hartmann et Braun et un interrupteur bipolaire placé entre le voltmètre et l'ampèremètre.

Au milieu du tableau se trouvent le voltmètre et l'ampèremètre du circuit d'excitation.

C.-F. Guilbert.

MÉTHODE D'ESSAIS DES MOTEURS D'INDUCTION (1)

Essais de moteurs. — Complétons les observations précédentes en les appliquant à quelques exemples. Les moteurs provenaient de la « Société électricité et hydraulique » et devaient satisfaire à la condition de développer une force d'entraînement double.

Moteur de 2 chevaux :

1° Marche à vide sous 120 volts, 4, 1 ampères, 210 watts ;

2° En court-circuit sous 120 volts, 55 ampères, 6940 watts ;

3° Résistance par phase 0,344 ohm.

Avec ces données, on construisit le diagramme (fig. 8).

D'abord pour la marche à vide, aux 210 watts correspond un courant watté de

$$I_w = \frac{210}{\sqrt{3} \cdot 120} = 1 \text{ ampère.}$$

Il en résulte le triangle des courants ACC^o pour la marche à vide, dans lequel :

Le courant de marche à vide.	AC^o	=	4,1 ampères
Le courant watté	CC^o	=	1 »
Le courant magnétisant	AC	=	4 »

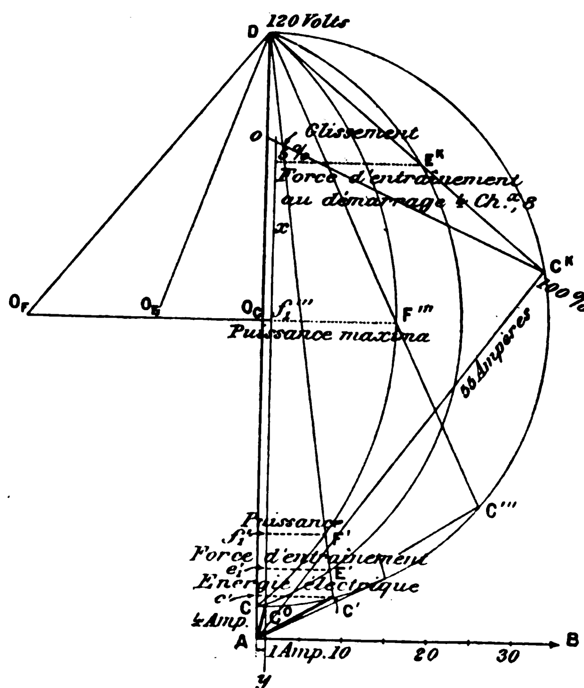


Fig. 8.

Le courant watté CC^o représente ici les pertes à vide par frottement, hystérésis et courants de Foucault.

Ces pertes doivent être constantes pour toutes les charges. Il faudra par suite en tenir compte en diminuant toujours la puissance mécanique de cette valeur constante, ce qui peut être fait, par exemple, en menant par C^o la parallèle xy à A C et en comptant ensuite toujours la puissance obtenue à partir de cette droite xy, en sorte que, par exemple pour le point C', l'énergie utilisée est représentée par $C'c'$, la force d'entraînement par $E'e'$ et la puissance par $f'F'$.

Par la mesure en court-circuit, on obtient un courant watté :

$$\frac{6940}{120\sqrt{3}} = 33,5 \text{ ampères.}$$

(1) Voir *l'Éclairage Électrique* du 6 juillet, p. 17.

où :

$$\cos \varphi = \frac{33,5}{55} = 0,61.$$

Cette valeur nous fournit le point C^k du diagramme étant donné que :

AC^k = courant en court-circuit = 55 ampères.

cos C^k AB = facteur de puissance = 0,61.

Au moyen de ces points C^o et C^k on détermine à présent facilement le centre O_c et la circonférence correspondante CC^o C^kD, ce qui détermine le diagramme.

Si nous menons maintenant la droite C^kD, la circonférence qui définit la puissance mécanique est déterminée par le fait que la puissance à l'arrêt doit être nulle pour le point C^k, c'est-à-dire le point d'intersection de la droite C^kD avec cette circonférence doit tomber en D. Il faut, par suite, que la droite C^kD soit tangente à ce cercle. Ceci détermine aussi le centre O_E et la circonférence donnant E′.

Pour obtenir finalement la troisième circonférence déterminant la force d'entraînement, il faut observer que la droite C^kD correspond aux pertes électriques en court-circuit et qu'elle se partage entre l'enroulement d'excitation et l'enroulement en court-circuit dans le rapport des résistances correspondantes. Etant donné que le champ total A D correspond à une tension de 120 volts, il revient sur le vecteur de perte dans le cas en court-circuit (mesuré à la même échelle) :

$$C^kD \times \frac{120}{AD} = 73 \text{ volts}.$$

Dans l'enroulement d'excitation dont la résistance par phase est de 0,344 ohm, la perte en court-circuit est de 55 ampères.

$$\sqrt{3}\ 55.0,344 = 32,7 \text{ volts}.$$

Si nous portons cette valeur à l'échelle de $\frac{32,7}{73}$ à partir de C^k sur C^k D, soit C^k E^k, ce point E^k détermine la circonférence qui définit la force d'entraînement, et par suite le centre O_E est également déterminé.

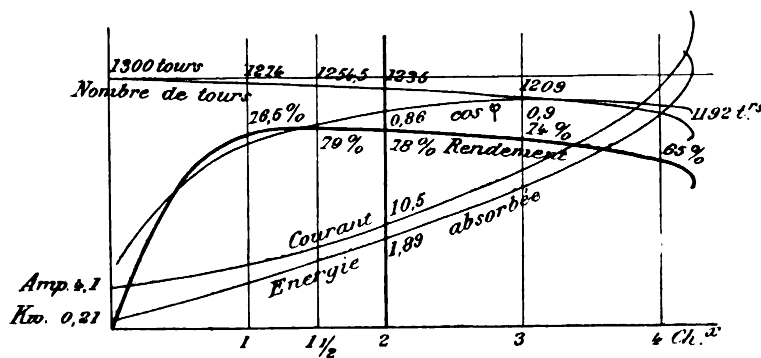


Fig. 9.

Menons enfin par C^k la droite C^k *o* perpendiculaire à O_E D ; cette ligne indique alors pour chaque charge le glissement correspondant. Dans le cas de la marche à vide, il est nul, dans le cas de la charge normale, il est de 5 p. 100.

Le diagramme nous renseigne maintenant sur tous les points remarquables. On peut relever les diverses grandeurs directement au compas et tracer des courbes, ainsi qu'il a été fait dans la figure 9.

Le moteur fournit normalement une force de deux chevaux avec un rendement de 78 p. 100, avec cos $\varphi = 0{,}86$ et avec un glissement de 5 p. 100. On peut, par suite, augmenter la charge de plus du double, le cos φ croît jusqu'à la valeur maxima 0,9. Enfin, le point C^k de la figure 8 indique qu'il démarre avec 55 ampères et une force d'entraînement de 4 chevaux. Il satisfait par suite à toutes les conditions qui lui étaient imposées.

Moteur de 7 chevaux. — Les essais d'un moteur de 7 chevaux ont déterminé les données suivantes rapportées à une phase.

1° A la marche à vide sous une tension de 110 volts, $I = 6{,}3$ ampères, $a = 100$ watts.

2° En court-circuit, sous une tension de phase de 110 volts, $I = 118$ ampères, $a = 6.670$ watts;

3° Résistance par phase 0,142 ohm.

Avec ces données, on a construit le diagramme (fig. 10).

Fig. 10.

Le courant watté à la marche à vide est ici $I_w = \frac{100}{110} = 0{,}91$ ampère et nous avons par suite les trois côtés du triangle ACC^o dans le cas de la marche à vide, dans lequel : le courant à vide $AC^o = 6{,}3$ ampères; le courant watté $CC^o = 0{,}91$ ampères; le courant magnétisant $AC = 6{,}2$ ampères.

Pour tenir compte des pertes à vide, nous menons, conformément aux explications antérieures, la parallèle xy à AC passant par le point C^o. Il faut alors toujours mesurer la puissance mécanique à partir de cette droite, les pertes constantes du moteur étant à retrancher de la puissance indiquée.

La mesure en court-circuit nous donne un courant watté de :

$$\frac{6{,}670}{110} = 60{,}7 \text{ ampères} = i \cos \varphi$$

ou bien

$$\cos \varphi = \frac{60{,}7}{118} = 0{,}515 = \text{facteur de puissance.}$$

Nous trouvons ainsi le point C^k du diagramme. Le centre (O_E) de la circonférence de l'énergie électrique absorbée peut à présent être facilement déterminé par une construction graphique. On obtient le point O_F en élevant au point D la perpendiculaire à C_k D, qui coupe la normale O_E O_F. Par suite DC_k est une tangente à la circonférence de la puissance mécanique.

Il reste à déterminer la troisième circonférence donnant la force d'entraînement. On fait cette détermination en partageant dans le rapport des résistances des deux armatures, la droite C_k D qui représente, comme nous le savons, les pertes électriques dans le cas du court-circuit. La troisième circonférence passe alors par ce point.

Dans le diagramme, le champ par phase correspond à une tension de 110 volts et il disparaît sur le vecteur des pertes dans le cas du court-circuit (en mesurant à la même échelle) :

$$C_k D \times \frac{110}{AD} = 57 \text{ volts.}$$

Dans l'enroulement d'excitation dont la résistance par phase est de 0,142 ohm, il y a en court-circuit une perte de 118 ampères, ce qui correspond à une perte de tension de $118 \times 0{,}142 = 16{,}8$ volts.

Afin de déterminer le point d'intersection de la troisième circonférence avec C_k D, il nous faut porter sur C_k D cette valeur à l'échelle $\frac{16{,}8}{57}$ à partir de C_k soit C_k E_k.

Fig. 11.

Fig. 13.

Fig. 12.

Fig. 14.

Enfin, nous abaissons de C_k la perpendiculaire sur la droite O_E D et nous obtenons ainsi le glissement pour un cas de surcharge quelconque. A la marche à vide le glissement est très faible, avec une charge normale il n'est que de 6,4 p. 100.

La figure 11 montre les courbes caractéristiques du moteur essayé, ces courbes étant fonctions du travail mécanique produit.

La puissance normale du moteur est de 7 chevaux, son rendement est de 85,5 p. 100 et le $\cos\varphi = 0{,}9$. Le $\cos\varphi$ atteint un maximum de 0,91 pour 9 chevaux.

Le moteur démarre avec une force d'entraînement de 16,7 chevaux et il a une puissance maxima de 15,4 chevaux.

Moteur de 10 chevaux. — Les figures suivantes 12 et 13 représentent le diagramme des phases et les courbes caractéristiques d'un moteur de 10 chevaux.

Les données fournies par les essais sont :

1° Pour la marche à vide sous 110 volts de tension de phase, $i = 8$ ampères, $a = 197$ watts.

2° En court-circuit avec une tension de phase de 110 volts, $i = 162,5$ ampères, $a = 9$ kilowatts ;

3° Résistance par phase, $r = 0,123$ ohm.

La figure 12 représente le diagramme construit avec ces données ; il est facile à lire.

Les courbes caractéristiques sont représentées dans la figure 13 ; les différentes grandeurs dans le cas de la charge normale de 10 chevaux sont les suivantes :

Rendement	83 p. 100	Cos φ =	0,915 kilowatts
Courant	29,5 ampères	Glissement	6 p. 100
Energie absorbée	2,95 kilowatts	Puissance maxima	21 chevaux.

Le moteur d'induction comme génératrice. — On connaît la propriété des moteurs d'induction de travailler comme génératrice [1] et de renvoyer du courant lorsqu'ils sont actionnés au-dessus du synchronisme ; ceci est analogue à ce qui a lieu pour les machines shunt à courant continu. Il est intéressant de constater que le diagramme donne immédiatement des éclaircissements sur ce fonctionnement, il suffit simplement de compléter la partie du cercle située à gauche de A D (fig. 14).

Le glissement devient alors négatif. L'ancienne puissance mécanique devient alors l'énergie mécanique employée. L'énergie électrique absorbée devient la puissance électrique.

Nous voyons que le moteur fournit exactement le même courant avec le même décalage que celui qu'il absorbait comme moteur ; par suite, il fournit de même exactement l'énergie électrique correspondant à l'ancienne absorption d'énergie électrique.

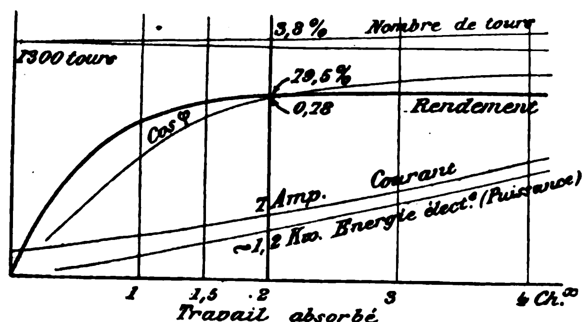


Fig. 15.

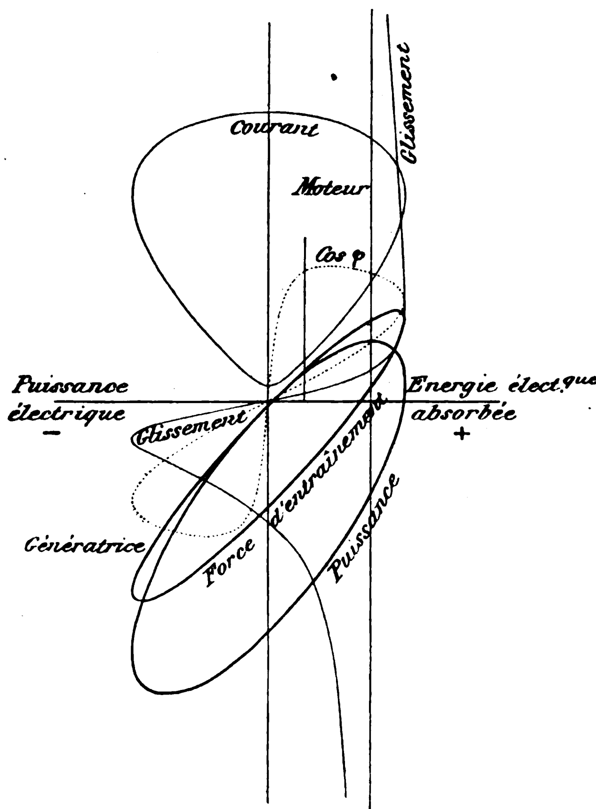


Fig. 16.

La quantité de travail mécanique absorbé est naturellement beaucoup plus importante que ne l'était précédemment la puissance mécanique ; elle augmente, ainsi qu'on le voit facilement, d'une quantité double des pertes ; ceci provient du fait qu'à présent toutes les

[1] Danielson, *Electrical World*, 1893, vol. XXI, p. 44.

pertes s'ajoutent à la puissance électrique alors que précédemment elles s'en retranchaient.

Au point de vue théorique, les courbes deviennent spécialement intéressantes, si on les trace, non plus en fonction de l'énergie mécanique fournie, mais au contraire en fonction de l'énergie électrique absorbée, c'est-à-dire de la grandeur qui correspond dans le diagramme au courant watté et par suite aussi aux abcisses (fig. 16).

En effet, les courbes prennent alors des formes mathématiques régulières et sont continues et faciles à suivre. La force d'entraînement et la puissance mécanique deviennent des ellipses, cos φ une fonction angulaire, etc...

Trois régions sont à examiner :

1. Comme moteur (glissement (o à 1)	$C_0 \leftrightarrow C^k$
2. Comme génératrice (glissement < o)	$C_0 \leftrightarrow D \leftrightarrow C^k$
3. Comme génératrice (glissement > o)	

Nous avons ainsi examiné tous les points essentiels de la présente méthode. Tous les détails compliqués du moteur sont essentiellement ramenés à deux bases, la dispersion magnétique et les pertes électriques, et toutes les variations du mode de fonctionnement du moteur peuvent être rapportées à ces deux quantités. Les variaiions de ces grandeurs sont multiples ei à la disposition de chacun.

Moteurs monophasés. — La théorie fondamentale des moteurs polyphasés est excessivement simple par suite de l'introduction dès le début d'un champ tournant. Elle devient un peu plus délicate dans le cas des moteurs monophasés.

Les moteurs monophasés possèdent un enroulement monophasé pour courant alternatif simple (fig. 17) et ne peuvent par suite évidemment produire qu'un champ alternatif simple dans la direction de l'axe de l'enroulement. Mais, un tel champ alternatif simple est naturellement incapable d'imprimer un mouvement de rotation à une armature en court-circuit sans collecteur ou tout autre dispositif analogue.

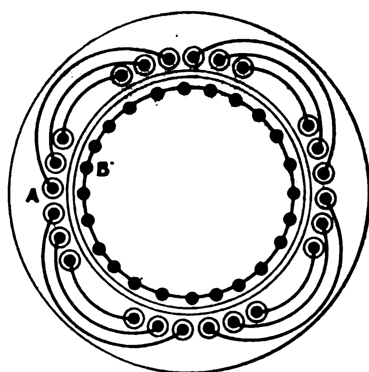


Fig. 17.

Il semble par suite, à première vue, un peu étonnant qu'un pareil moteur puisse fonctionner et fournir du travail. Les moteurs monophasés de forme simple avec enroulements monophasés ne démarrent pas, il faut au contraire commencer par les lancer à une certaine vitesse par un moyen quelconque. Ensuite, quand ils ont pris leur vitesse, ils fonctionnent exactement comme les moteurs polyphasés.

On trouve l'explication de ce fonctionnement dans ce fait que pour une certaine vitesse, il se développe également dans l'armature en court-circuit des moteurs monophasés un champ fixe tournant avec l'armature. Il s'établit alors entre ce champ et les ampère tours de l'enroulement monophasé un moment de rotation de la même manière que, entre le champ de l'armature en court-circuit et l'un des deux ou trois enroulements de phases d'un moteur polyphasé. Le moment de rotation est ondulatoire par suite de la disparition d'une deuxième phase, il a un maximum, devient égal à zéro et atteint de nouveau un maximum suivant sa position entre le champ et sa bobine.

On peut dans les moteurs d'induction, aussi bien dans les monophasés que dans les polyphasés, considérer l'armature en court-circuit comme un inducteur analogue aux inducteurs des moteurs synchrones. La seule différence est alors que la direction du champ, c'est-à-dire l'axe des champs n'est pas relié d'une manière rigide avec l'armature, mais qu'il

est maintenu par les spires en court-circuit avec une certaine élasticité (Zahigkeit) et qu'il ne tourne que lentement à la suite de l'armature en court-circuit et avec une vitesse correspondant au glissement.

Le fait que ce champ constant existe aussi bien dans les moteurs monophasés que dans les moteurs polyphasés, quoique l'enroulement d'excitation ne produise qu'un champ alternatif simple, s'explique précisément par la propriété caractéristique des spires en court-circuit de maintenir avec une grande ténacité un champ les traversant une fois, chaque variation de ce champ provoquant dans les spires en court-circuit des courants qui agissent précisément en s'opposant à cette variation et ceci avec une énergie d'autant plus grande que la résistance de ces spires est plus faible et que les pulsations du champ sont plus rapides.

Si nous imaginons l'armature du moteur monophasé tournant synchroniquement, le champ alternatif primaire ne se présentera plus dans l'armature comme un champ alternatif car dans le même laps de temps que l'intensité du champ met pour passer de o à son maximum et de nouveau à o, l'armature a également tourné de 180° et le champ alternatif primaire se manifestera par suite dans l'armature comme un champ intermittent mais de direction constante.

Mais chaque pulsation du champ d'armature produit dans les spires de l'armature des courants déwattés, qui abaissent les pulsations à un minimum pratiquement négligeable, c'est-à-dire, maintiennent à une intensité constante le champ qui était primitivement intermittent dans l'armature mobile en court-circuit. Dans les positions pour lesquelles le champ correspondant au courant d'excitation dépasserait cette valeur constante, les ampère tours en court-circuit agissent d'une manière démagnétisante, dans les autres positions, ils fournissent le courant magnétisant.

Afin de nous représenter clairement ce fonctionnement nous allons isoler les quatre positions caractéristiques suivantes (fig. 18, 19, 20 et 21).

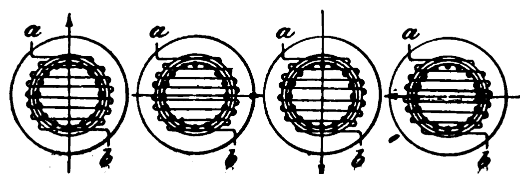


Fig. 18 à 21.

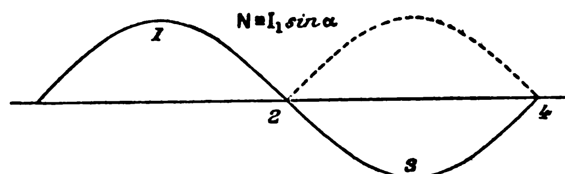


Fig. 22.

Dans les figures 18-21, *a-b* représente l'enroulement primaire, *c* l'armature en court-circuit qui tourne synchroniquement.

Le champ produit par le courant II présenterait alors la marche représentée dans la figure 22. Dans les positions 1 et 3, l'amplitude totale agit une fois dans une direction, une fois dans l'autre. Mais, comme l'armature en court-circuit a tourné de 180° pendant ce temps-là, le champ dans l'armature en court-circuit aura dans les positions 1 et 3 la même direction et sa marche sera représentée par la courbe en trait pointillé. C'est maintenant qu'intervient l'action des spires en court-circuit décrite ci-dessus ; le champ ne peut pas avoir de fortes pulsations, il reste au contraire constant dans l'armature, c'est-à-dire, nous obtenons un champ constant tournant avec l'armature en court-circuit.

On peut représenter le fonctionnement dans l'armature en court-circuit de la manière suivante. Soient I_1 (fig. 23) les ampère tours magnétisants de l'armature d'excitation, I_2 ceux de l'armature en court-circuit, il faut évidemment qu'ils se composent pour donner les

ampère tours I qui produisent le champ constant. Faisons d'abord abstraction de l'action de la dispersion.

Si nous admettons de nouveau que le courant alternatif est représenté par une fonction sinus, et si $\overline{I_1}$ est la valeur maxima de ce courant dans les spires de l'armature d'excitation pendant la marche à vide, la valeur momentanée des ampère tours de l'armature d'excitation pendant la marche à vide est proportionnelle à

$$I_1 = \overline{I_1} \sin \alpha.$$

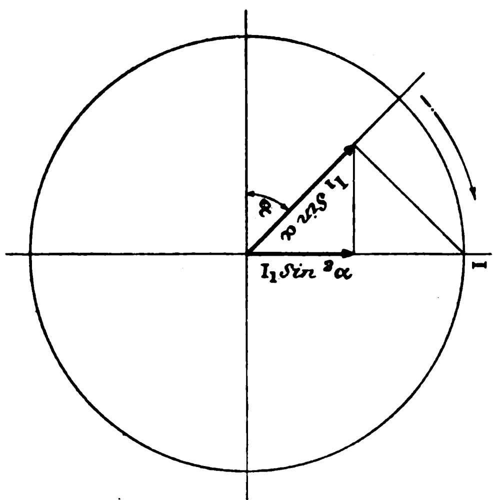


Fig. 23.

Si nous imaginons l'armature en court-circuit immobile et l'armature d'excitation animée d'un mouvement de rotation, il faut que le champ constant reste immobile avec l'armature en court-circuit. Ce champ est produit par les ampère tours de l'armature d'excitation qui est animée d'un mouvement de rotation et ces ampère tours eux-mêmes varient suivant une fonction sinusoïdale. Il faut par suite que le champ de l'armature en court-circuit ait une composante proportionnelle à

$$I_1 \sin \alpha = \overline{I_1} \sin^2 \alpha = I_1 \frac{1 - \cos 2\alpha}{2}.$$

Mais il faut que le champ de l'armature en court-circuit soit constant et que les ampère-tours résultants soient proportionnels à $\overline{I}$, $\overline{I}$ étant le courant magnétisant. Par suite la différence entre les ampèretours magnétisants et ceux de l'armature d'excitation devra être produite dans l'armature en court-circuit et nous avons par suite, si I_2 représente la valeur du courant dans l'armature en court-circuit

$$\overline{I_2} = \overline{I} - \frac{\overline{I_1}}{2}(1 - \cos 2\alpha),$$

$$\overline{I_2} = \overline{I} - \frac{\overline{I_1}}{2} + \frac{\overline{I_1}}{2} \cos 2\alpha.$$

Les courants dans l'armature en court-circuit ne pouvant être qu'une fonction périodique du temps, les constantes doivent disparaître. On a par suite

$$\overline{I} - \frac{\overline{I_1}}{2} = 0$$

$$\overline{I} = \frac{\overline{I_1}}{2}$$

$$\overline{I_2} = \frac{\overline{I_1}}{2} \cos 2\alpha.$$

Les ampère tours de l'armature en court-circuit sont par suite :

$$AW_1 = \frac{\overline{I_1}}{2} - \frac{\overline{I_1}}{2} \cos 2\alpha$$

et ceux de l'armature en court-circuit :

$$AW_2 = \frac{\overline{I_1}}{2} \cos 2\alpha,$$

et les ampère tours magnétisants :

$$AW = \frac{\bar{I}_1}{2} = \bar{I},$$

ce qui exprime que dans les moteurs monophasés le courant magnétisant I est égal à la moitié du courant de marche à vide. Les quatre positions caractéristiques donnent maintenant la figure suivante :

La somme des deux champs forme une droite correspondant à la valeur $\frac{\bar{I}_1}{2}$.

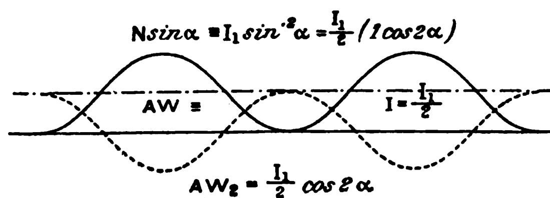


Fig. 24.

Les champs séparés sont représentés par les deux lignes ondulées (voir fig. 24).

Toutefois ce champ tournant n'est pas absolument constant, il forme au contraire une ligne légèrement ondulée. Mais un simple examen montre que l'on peut négliger ces pulsations.

Un moteur normal absorbe en pleine charge un courant magnétisant environ quintuple. Si le glissement est de 4 p. 100, ce courant sera produit par 4 p. 100 et la fréquence totale. Mais dans le cas présent nous avons, ainsi qu'il a été expliqué au début, une fréquence double, c'est-à-dire 200 p. 100. La pulsation qui produit le courant magnétisant ne sera par suite que $\frac{4 \times 5}{200} = \frac{1}{100}$ du champ constant, soit 1 p. 100. Nous avons également négligé l'influence de la dispersion dont nous allons toutefois tenir compte ici; par suite de la dispersion le rapport $\frac{\text{courant à vide}}{\text{courant magnétisant}}$ n'est pas égal à 2.

Dans les deux positions des figures 25 et 26 la valeur du champ d'armature doit être

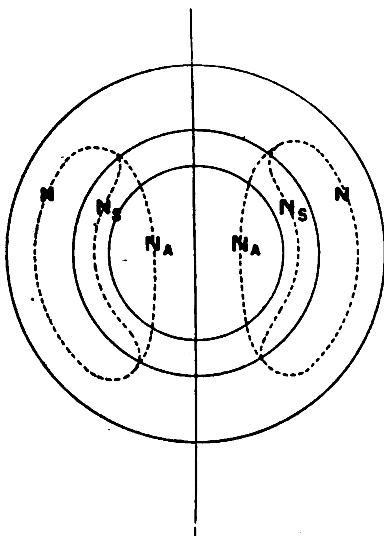


Fig. 25.

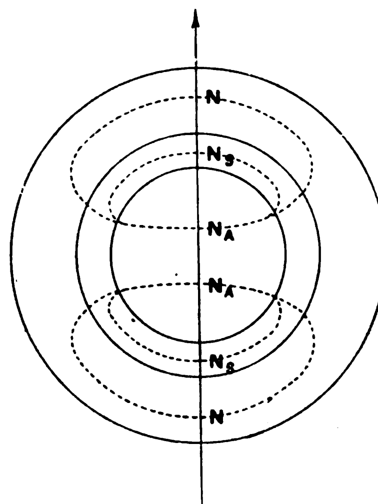


Fig. 26.

absolument la même. Dans l'une des positions (fig. 25), il est produit par l'enroulement primaire avec le courant magnétisant $I = I_1 - I_2$ et le champ d'armature est, en tenant compte de la réluctance :

$$N_a = \frac{I}{\rho}.$$

****

Dans l'autre position (fig. 26), le champ d'armature est produit par les ampère-tours de l'armature en court-circuit. Dans ce cas le champ pouvant suivre le chemin du champ de dispersion en plus du chemin du champ principal la réluctance devient plus petite. Si nous désignons par ρ' la réluctance dans ce cas on a

$$N_a = \frac{I_2}{\rho'}.$$

Nous avons vu que le champ d'armature reste sensiblement constant et nous avons par suite

$$\frac{I}{\rho} = \frac{I_2}{\rho'}$$

ou bien comme $I_2 = I_1 - I$

$$I_2 = I_1 - I$$

$$\frac{I}{\rho'} + \frac{I}{\rho} = \frac{I_1}{\rho'}$$

$$I(\rho + \rho') = I_1 \rho$$

$$\frac{I_1}{I} = \frac{\rho + \rho'}{\rho} = \frac{\text{Courant à vide}}{\text{Courant magnétisant}}.$$

Par substitution des réluctances partielles

$$\rho_1, \rho_e \text{ et } \rho_2$$

on peut amener le rapport à une forme ne contenant que des grandeurs connues. On trouve que ρ_1 diffère peu de ρ et que le rapport est par suite sensiblement égal à 2. Le fonctionnement est par suite le suivant :

Dans le moteur monophasé marchant à vide il se forme dans l'armature en court-circuit exactement comme dans les moteurs à champ tournant, un champ fixe tournant avec l'armature en court-circuit. Ce champ est produit directement par l'enroulement d'excitation lorsqu'il coïncide avec l'axe de cet enroulement. Dans la direction perpendiculaire à cette première direction il est produit par le courant à vide de l'armature en court-circuit. Ces courants sont déwattés et sont induits par l'armature d'excitation, ce qui se manifeste par le fait que le courant à vide prend une valeur double du courant magnétisant, ou plus exactement une valeur égale à $\frac{\rho + \rho'}{\rho}$ fois la valeur du courant magnétisant.

Le fait que ce champ, dans sa position normale à l'enroulement d'excitation, soit produit par l'armature en court-circuit ou par un deuxième enroulement de phase (comme dans le moteur diphasé), est évidemment indifférent pour l'enroulement d'excitation, et l'enroulement d'excitation monaphasé produit sur l'armature en court-circuit le même mouvement de rotation que, par exemple, une phase d'un moteur diphasé.

Ces observations permettent de déduire le diagramme des moteurs monophasés de celui des moteurs polyphasés. Pour les moteurs polyphasés on avait

$$AC = I = \text{courant magnétisant}.$$

Pour les moteurs monophasés on a

$$AC = I_1$$

$$AC = I \frac{\rho + \rho'}{\rho}$$

ou bien, ρ étant peu différent de ρ',

$$AC = 2I.$$

Le rapport $\frac{AD}{AC}$ n'est par suite plus :

$$\frac{AD}{AC} = \frac{\rho_1}{\rho}$$

comme pour les moteurs polyphasés mais

$$\frac{AD}{AC} = \frac{\rho_1}{2\rho}.$$

c'est-à-dire, ce rapport est égal au rapport correspondant à un moteur polyphasé de réluctance double.

Il faut prendre garde de se laisser entraîner trop loin dans la comparaison entre les moteurs polyphasés et monophasés. Par exemple, il est inexact d'admettre que l'on obtiendrait un bon moteur monophasé en faisant simplement fonctionne, un moteur polyprasé comme moteur monophasé en interrompant, par exemple, une des phases. Un tel moteur monophasé donnerait de mauvais résultats; par suite de la chute de la deuxième phase, sa puissance ne serait que légèrement supérieure à la moitié de la puissance du moteur polyphasé de mêmes dimensions. Toutefois les conditions ne sont pas si défavorables aux moteurs monophasés; au contraire, il intervient dans la construction des moteurs monophasés des considérations toutes différentes, qui permettent de réduire extraordinairement différentes grandeurs, en sorte que les dimensions d'un bon moteur monophasé ne sont que légèrement supérieures à celles d'un moteur polyphasé de même puissance et que son rendement n'est que légèrement inférieur au rendement de ce dernier.

L'étude de ce point ne fait pas partie du programme de cette publication et je me réserve d'étudier cette question ultérieurement d'une manière plus complète.

Je me proposais aujourd'hui de mette simplement au service de la pratique le diagramme établi par moi, et le but du présent mémoire sera atteint, si j'ai contribué ainsi à éclaircir la partie la plus compliquée de notre théorie des courants alternatifs.

HEYLAND,
Ingénieur-conseil.

SUR L'EMPLOI D'UNE ÉLECTRODE SUPPLÉMENTAIRE

DANS LES RECHERCHES SUR L'ACCUMULATEUR ÉLECTRIQUE

Lorsqu'on veut faire une étude méthodique expérimentale de l'accumulateur, il est indispensable d'avoir recours à des procédés d'investigation capables d'indiquer comment se comportent séparément les principaux éléments constituants de l'accumulateur, et principalement, parmi ceux-ci les deux électrodes.

Les différentes mesures à effectuer : force électromotrice, différence de potentiel, résistance intérieure, se réduisant toutes à une mesure de différence de potentiel, il importe donc de pouvoir mesurer d'une façon certaine la variation du potentiel de chacune des deux électrodes. C'est dans ce but que quelques techniciens emploient depuis quelque temps une troisième électrode isolée dans l'électrolyte et dont le potentiel doit rester constant; et les mesures de différence de potentiel sont effectuées entre chacune des électrodes positive ou négative de l'accumulateur étudié et cette électrode supplémentaire. Il est évident que la différence de potentiel aux bornes sera la différence algébrique de ces deux valeurs.

Le nombre des substances qu'on peut employer dans la constitution d'une telle électrode est assez limité, par suite des qualités essentielles exigées, qui sont : insolubilité dans l'acide sulfurique, absence de polarisation, constance du potentiel pendant le fonctionnement.

M. U. Schoop emploie le dispositif suivant : au fond d'un petit vase cylindrique en terre poreuse, on verse une certaine quantité (environ 10 mm de hauteur) de mercure pur, et par-dessus, on dispose une couche (fig. 1) de 2 mm de sulfate mercureux ; le vase est ensuite rempli d'une solution étendue d'acide sulfurique de densité 1,17. Pour faciliter le transport, on peut également rendre l'électrolyte gélatineux en l'additionnant de 1/3 de son volume de silicate de potasse. Le vase est fermé par un couvercle en ébonite, traversé seulement par le conducteur constitué par un fil de platine qui plonge dans le mercure et est protégé du contact de l'électrolyte par un tube de verre fermé aux deux bouts.

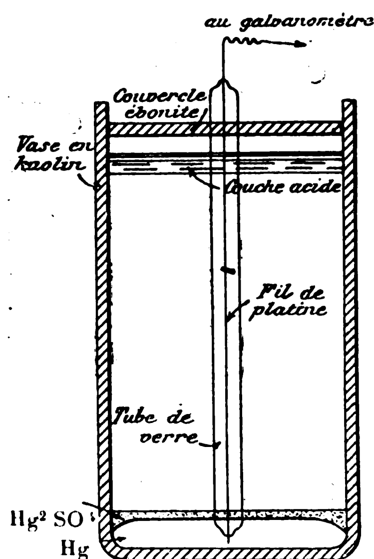


Fig. 1. — Electrode supplémentaire de U. Schoop.

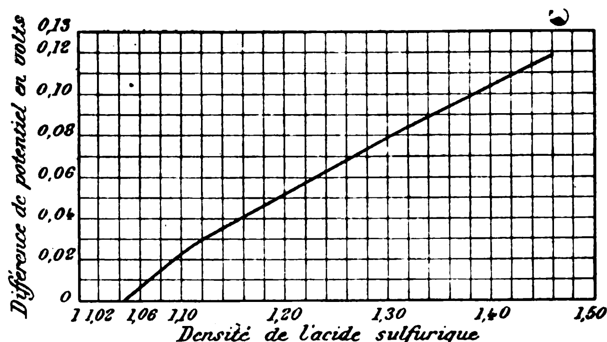


Fig. 2. — Force électromotrice d'un couple à électrodes de plomb spongieux.

Dans différentes études que nous avons faites sur l'accumulateur, nous avons employé avec avantage, comme électrode supplémentaire, une simple petite plaquette en plomb spongieux pur. Cette électrode que nous appelons « négative témoin » présente les qualités requises, et sa constance de potentiel est remarquable même lorsqu'après un long temps de fonctionnement elle renferme une proportion élevée de sulfate de plomb.

Cette négative témoin peut être employée de deux façons, soit libre dans le liquide, soit entourée d'un vase poreux ; dans le premier cas, il y a variation du potentiel de la négative témoin par suite de la variation de la concentration de l'électrolyte et on mesure les variations relatives de potentiel des électrodes ; dans le deuxième cas, on mesure les variations absolues, le potentiel de la négative témoin étant invariable. On passera facilement d'un cas à l'autre par une mesure des variations de concentration de l'électrolyte si on connaît les différentes valeurs du potentiel du plomb spongieux en fonction de la densité de l'acide sulfurique.

C'est dans ce but que nous avons déterminé les forces électromotrices des couples Pb-Acide de densité 1,045 | Pb acide de densité variable. La courbe de la figure 2 donne les résultats obtenus, l'augmentation de la densité rendant plus électro-positive l'électrode en plomb spongieux. Par exemple, la concentration variant de la densité 1,30 à 1,20, l'électrode en plomb spongieux sera moins électro-positive dans ce dernier cas, de 0,079 — 0,052 = 0,027 volt.

En plus de la simplicité, la négative témoin jouit de l'avantage de pouvoir être faite très mince et de dimensions très réduites ; il en résulte qu'elle ne change pas la répartition du potentiel dans l'électrolyte, et que toute sa masse peut être considérée comme ayant le même potentiel.

Si donc on a soin de la placer à égale distance des deux électrodes, au potentiel moyen de l'électrolyte, la détermination de la résistance intérieure aux deux pôles donnera la résistance au passage de chaque électrode augmentée d'une constante égale à la moitié de la résistance intérieure de l'électrolyte. Comme cette dernière est assez facile à connaître, on en déduira aisément la résistance propre de chaque électrode.

De plus, la négative témoin ayant même potentiel que l'électrode négative fin charge (les écarts ne dépassent pas en général quelques millièmes de volt) les différences de potentiel prises entre ces deux plaques indiqueront en valeur absolue les variations de potentiel de l'électrode négative étudiée.

Pour l'étude de l'électrode positive, on pourrait avoir le même avantage en employant comme électrode supplémentaire une petite plaque de peroxyde de plomb ; mais il est très difficile d'avoir avec celle-ci des résultats certains : on n'est jamais sûr, en effet, qu'une telle plaque est exempte de produits suroxygénés, acide persulfurique ou eau oxygénée, qui rendent le potentiel inconstant ; de plus, une plus grande difficulté de diffusion rend la plaque moins apte à suivre les variations de concentration de l'électrolyte.

Dans la plupart des cas, ce qui est le plus intéressant à étudier, c'est la façon dont se comportent les deux électrodes par rapport à l'électrolyte dans son état actuel ; or on sait que sa concentration diminue pendant la décharge pour revenir à la valeur initiale à la fin de la charge. Il convient alors de faire usage de la négative témoin libre dans le liquide.

Si on employait celle-ci enfermée dans un vase poreux contenant de l'acide ayant la densité de l'électrolyte fin charge, il est évident qu'on obtiendrait pour l'électrode positive étudiée une variation moins grande qu'elle n'est en réalité pendant que celle due à l'électrode négative serait augmentée de la même quantité, celle-ci correspondant justement à chaque instant à la valeur du couple Pb spongieux-Acide sulfurique de concentration fin charge | Pb spongieux - Acide sulfurique de concentration correspondante à l'instant considéré.

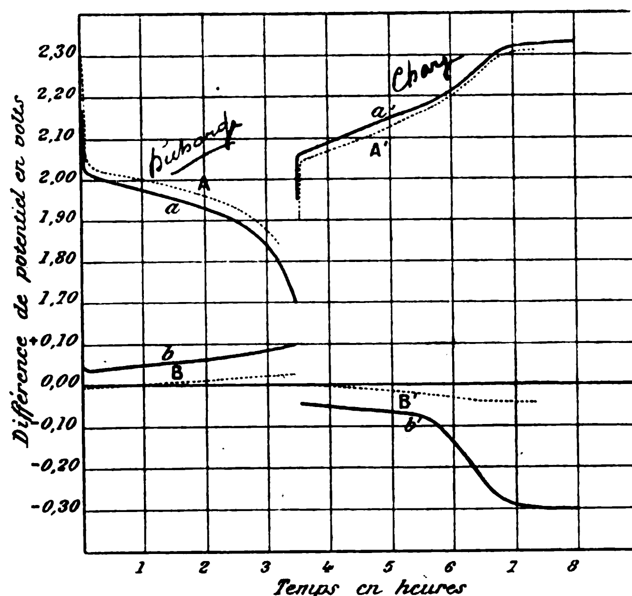


Fig. 3. — Courbes des composantes de la différence de potentiel et de la force électromotrice d'un accumulateur.

En étudiant ainsi qu'il a été dit plus haut un accumulateur, on peut tracer les courbes caractéristiques ; c'est ce qui a été fait en figure 3 pour un accumulateur dont les positives et négatives absolument semblables étaient d'un type à pastilles ayant déjà travaillé quelque temps.

Les courbes *a* et *b*, *a'* et *b'* représentent les différences de potentiel prises avec la négative témoin des plaques positives *a* et négatives *b* en décharge ; et des plaques positives

a' et négatives b' en charge, pour une même intensité I = 20 ampères dans les deux cas.

En décharge a et b étant toutes deux électro-négatives par rapport à la négative témoin ont été portées au-dessus de l'axe des abscisses ; en charge, au contraire, b' étant électro-positive a été portée en dessous.

La différence de potentiel aux bornes de l'accumulateur se déduit aisément de ces deux courbes. Ainsi, en décharge, au temps 2 h. on aura

$$e = 1,93 - 0,06 = 1,87 \text{ volt}$$

et en charge, au temps 5 h.

$$e = 2,15 + 0,065 = 2,215 \text{ volts}$$

nombres concordant exactement avec la différence de potentiel mesurée [1].

L'aspect des courbes de décharge montre immédiatement que dans le cas considéré, la capacité est limitée par l'électrode positive, ce qui est évidemment une indication très précieuse.

On pourra tracer également les courbes composantes de la force électromotrice A, B, A', B', dans les mêmes conditions et on en déduira celles de la résistance intérieure de chacune des deux électrodes par la formule $r = \frac{E - e}{I}$.

L'accumulateur étudié ici (fig. 3) montre une résistance due à l'électrode négative supérieure à celle de l'électrode positive. Le tableau suivant donne quelques points ainsi déterminés :

	Résistance intérieure due à l'électrode positive	Résistance intérieure due à l'électrode négative	Résistance intérieure de l'élément
Après 18 minutes de décharge	0,00097 ohm	0,0024 ohm	0,00337 ohm
» 2 h 18 »	0,00147 »	0,0029 »	0,00437 »
» 1 h 13 de charge	0,001 »	0,0024 »	0,0034 »
» 2 h »	0,0005 »	0,0030 »	0,0035 »
» 3 h 38 »	0,00075 »	0,0125 »	0,0132 »

La résistance intérieure élevée donnée par le dernier nombre pour l'électrode négative

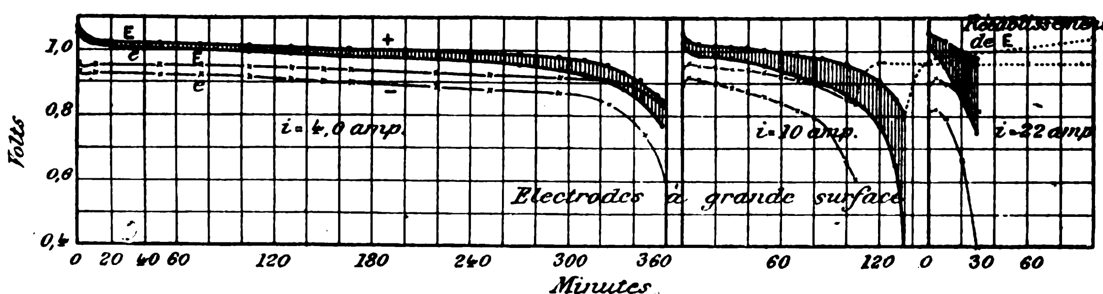


Fig. 4. — Courbes relatives aux plaques à grande surface.

n'est qu'apparente, car à cette période où le dégagement d'hydrogène est abondant, il y a en même temps qu'un accroissement de résistance intérieure une augmentation de la force électromotrice ; mais celle-ci est très fugace, incomparablement plus que celle due à l'acide persulfurique à la positive, et il est très difficile d'en donner la valeur exacte.

L'étude de l'accumulateur avec l'électrode supplémentaire peut être très fertile aussi

---

[1] M. U. Schoop a vérifié également cette concordance avec son électrode supplémentaire, en suivant en décharge un accumulateur Tudor à négatives à pastilles et positives à grande surface (*Zeitschrift für Elektrotechnik*, t. XIX, p. 101, 25 février 1900).

bien au point de vue théorique que pratique. Nous avons déjà précédemment (¹) analysé ainsi la façon dont se comporte séparément chacune des électrodes positive et négative au point de vue de la variation de capacité en fonction de la concentration pour les différentes intensités de décharge.

Dans la *Zeitschrift für Elektrotechnik* (t. XIX, p. 102) du 25 février 1900 M. U. Schoop étudie de la même façon comparativement les plaques à grilles et les plaques à grandes surfaces. Les constantes des plaques étudiées sont résumées dans le tableau suivant :

		Positive à grande surface	Négative à grande surface	Positive à grille	Négative à grille
Poids des plaques formées et séchées à l'air, queues comprises	grammes :	2396	2328	1250	1160
Poids des plaques non formées sans queues	»	2050	2050	1130	1130
Surface en contact avec l'acide	dm² :	34,6	34,6	5,4	5,4
Surface plane	»	5,75	5,75	5,4	5,4
Epaisseur des plaques	mm :	11	11	6	6

Les plaques à grilles étaient du type A. Hagen.

La quantité de matière active contenue dans les plaques à grande surface correspondait à 440 gr Pb (déduite de la différence 68 gr d'oxygène entre la plaque peroxydée et la plaque réduite).

La densité de l'électrolyte employé était 1,17.

La figure 4 se rapporte aux plaques à grande surface ; elle indique les variations de force électromotrice E et de différence de potentiel *e* pour la positive et la négative avec trois intensités différentes de décharge. Pour le régime faible, l'épuisement total des deux

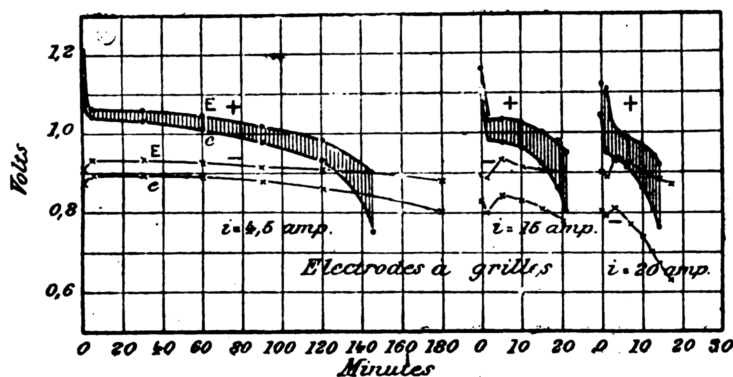


Fig. 5 — Courbes relatives aux plaques à grilles

plaques survient en même temps. En élevant le régime, la cathode tombe plus vite que l'anode. La figure 5 indique la même variation pour les plaques à grilles, quoiqu'au régime faible la capacité de la négative soit plus élevée que celle de la positive. C'est ce qu'exprime plus clairement encore la figure 6 qui donne pour chacune des plaques étudiées la variation de la capacité en fonction de l'intensité.

Pour toutes les décharges (fig. 4 et 5) on constate que la résistance de la cathode est plus grande que celle de l'anode (on a vu plus haut qu'il en était de même pour les plaques étudiées par nous, en figure 3). De plus, le rapport entre les deux valeurs reste sensi-

(¹) *L'Éclairage Électrique*, t. XVIII, p. 201, 11 février 1899.

blement constant, quelle que soit l'intensité. L'épuisement de la cathode se produit plus tôt que celui de l'anode, quoique cependant la force électromotrice de cette dernière baisse plus rapidement que celle de la première, ce qui indique à nouveau une plus grande résistance intérieure de la cathode [1].

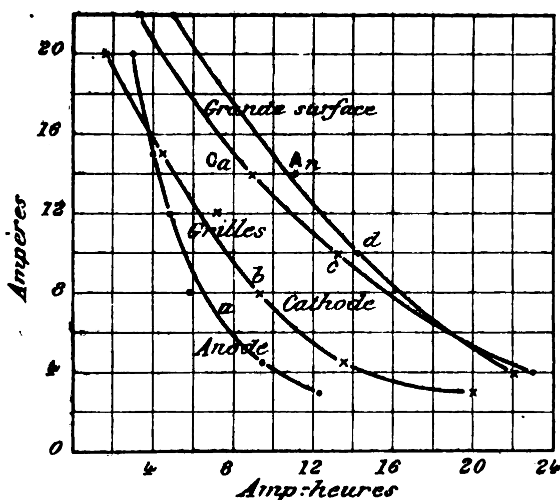


Fig. 6. — Courbes de variation de la capacité de chaque électrode avec l'intensité de décharge.

Un fait remarquable mis en évidence ici est (voir fig. 5 $i = 4{,}5$ ampères) l'élévation de la force électromotrice des négatives après quelques minutes de décharge. Ce phénomène provient vraisemblablement de l'hydrogène occlus dans le plomb spongieux; celui-ci crée non seulement une diminution de surface, mais encore en s'oxydant en eau dès le début il produit une dilution de l'électrolyte. Quand l'hydrogène a disparu, en même temps qu'une plus grande surface de plomb spongieux devient intéressée dans les réactions, la diffusion ramène dans la matière de l'acide plus concentré, d'où élévation de la force électromotrice.

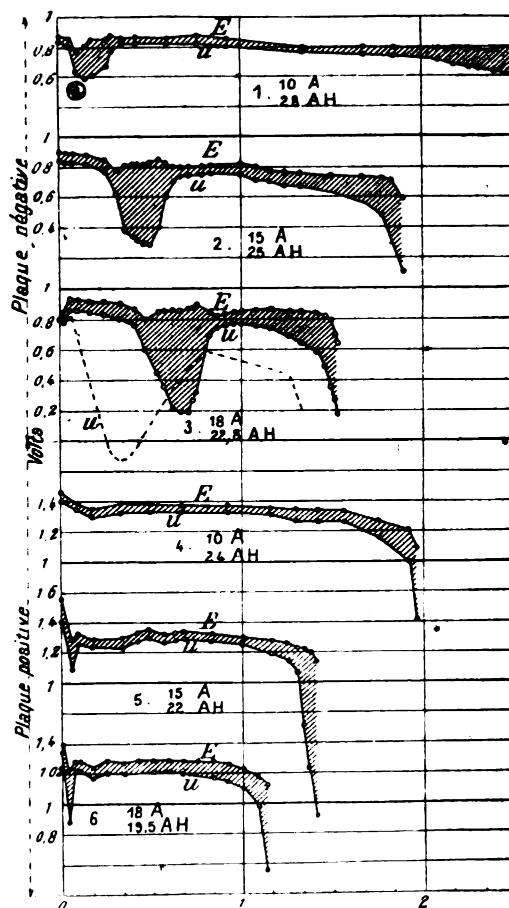


Fig. A. — Courbes obtenues avec des plaques Gottfried.

(1) Il est intéressant de rapprocher de ces courbes, celles de la figure A publiées par M. M. Schoop dans *L'Industrie Électrique* du 25 janvier 1899, t. VIII. p. 29, en les accompagnant des commentaires suivants :

Les courbes 1, 2, 3 montrent comment se comporte une même plaque négative (système Gottfried, Hagen) pour différents régimes de décharge constante de 10, 15 et 18 ampères. Cette plaque formée et sèche pesait 2,5 kg et a donné aux régimes ci-dessus des capacités respectivement égales à 28, 25 et 22,8 ampères-heure. Les courbes marquées E montrent la variation de la force électromotrice existant entre la plaque et l'électrode parasite ; les courbes marquées *u* la différence de potentiel correspondante pendant la décharge. On reconnait ainsi facilement que la résistance de cette plaque négative, directement proportionnelle à la différence hachurée entre les deux courbes, présente des valeurs numériques plus grandes pour les forts courants de décharge, et les variations au commencement de chaque courbe laissent pressentir une liaison intime entre la résistance intérieure d'un accumulateur et la facilité de diffusion de l'acide, diffusion qui est fonction de la qualité de la matière active. Ainsi, avec une plaque épaisse possédant une amenée de courant mauvaise et non symétrique telle qu'une plaque Boese, la courbe de la différence de potentiel, dans les mêmes conditions de poids et de régime, prend une forme bien plus défavorable indiquée par la ligne ponctuée de la partie 3 de la figure. Ce résultat montre que des plaques de ce genre doivent être considérées comme défavorables lorsqu'il s'agit des régimes spécifiques élevés.

Les courbes 4, 5 et 6 montrent comment se comporte aux mêmes régimes de décharge une plaque positive du même

De ces constatations, on tirera comme conclusion pratique que dans la plupart des cas on devra prévoir la capacité de la cathode très supérieure à celle de l'anode principalement lorsque le courant de décharge peut atteindre des intensités élevées comme dans le cas des batteries-tampons ou des batteries d'automobiles. Ceci est d'autant plus important qu'au bout d'un certain temps, tous les types de négatives diminuent plus ou moins rapidement de capacité et augmentent de résistance intérieure, en même temps qu'il se produit une contraction de la matière active cause d'une diminution de porosité et d'une diminution d'adhérence avec le support conducteur.

Cette diminution rapide de capacité qui est très marquée avec les négatives à grande surface a fait rejeter celles-ci par un grand nombre de constructeurs.

L. JUMAU.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

Sur les fours électriques, au point de vue de la production du carbure de calcium, par **Birger Carlson.** *Zeitschrift für Elektrochemie*, t. VI, p. 413 et 429, 8 et 15 février 1900.

Les nombreux fours électriques fabriqués et brevetés peuvent être classés en deux groupes : dans les uns, la haute température est obtenue par un arc électrique; dans les autres, elle résulte de l'échauffement par le courant de la résistance offerte par les diverses matières du four.

Avec ces différents fours deux systèmes d'exploitation peuvent être employés : dans l'exploitation continue, la matière est soutirée à l'état de fusion et le four marche longtemps sans interruption; avec l'exploitation discontinue, au contraire, après rupture du courant, on laisse refroidir la masse et on retire du four un bloc solide.

Le choix du système d'exploitation et du modèle de four étant très important en pratique, il convient d'étudier les avantages et inconvénients de chacun d'eux.

Le seul avantage des fours à résistance est qu'ils permettent une exploitation continue par suite d'une moindre usure des électrodes; celles-ci formées par des plaques de charbon encastrées dans le sol ou les parois du four sont toujours recouvertes par la matière fondue qui les protège. Par contre, la résistance du four étant très variable avec l'état des matières, il est impossible de régler l'intensité et par suite d'utiliser dans de bonnes conditions la puissance des machines. L'emploi du courant continu doit être banni avec ces fours à cause d'actions secondaires, comme l'électrolyse du calcium métallique qui se dégagerait à la cathode, en partie attaquant celle-ci et en partie distillant.

Dans les fours à arc, les électrodes doivent être remplacées après un temps relativement court, variant d'après les usines de deux à six jours. Pendant le fonctionnement du four, le mélange chaux et charbon étant plus léger que le carbure remonte à la surface où la température est la plus élevée, ce qui est très favorable et ce qui n'a pas lieu avec les fours à résistance.

Pour comparer entre eux les deux systèmes d'exploitation, il convient d'abord de considérer que le carbure de calcium n'a pas un point de fusion nettement déterminé, et à ce point de vue, il peut être comparé au verre. C'est ainsi qu'il commence par s'amollir, puis devient visqueux et enfin fluide; et entre ces trois états, les écarts de température sont considérables. Avec l'exploitation discontinue, il suffit d'atteindre le point de viscosité 2 800 à 3 000° tandis que le

type et des mêmes dimensions pesant, formée et sèche, 2,31 kg. Ces plaques sont carrées, de 24 cm de côté et de 6 mm d'épaisseur. Les capacités trouvées pour les régimes de décharge de 10, 15 et 18 ampères sont respectivement de 24, 22 et 19,5 ampères-heure.

N. d. l. R.

point de fluidité nécessaire avec l'exploitation continue n'a lieu qu'à 3 500 à 4 000°. Comme le carbure à cette température entre en contact direct avec le revêtement du four, celui-ci doit être fabriqué en matières capables de résister à ces hautes températures. De simples briques réfractaires ordinaires suffiront pour les fours à exploitation discontinue dont le carbure à une température plus basse n'est pas en contact avec les parois; une couche de matière non fondue vient protéger celles-ci.

D'autre part, le carbure de calcium porté à des températures très élevées se dissocie en charbon et calcium qui distille, s'oxyde hors du four et crée la formation de poussière de chaux.

Il en résulte une plus grande quantité de chaleur dépensée dans les fours continus puisqu'il faut chauffer le carbure à une température plus élevée, fabriquer une partie du carbure qui se dissocie, dissocier celui-ci en Ca et C et enfin distiller le calcium métallique.

La pratique a montré qu'il est très difficile de couler le carbure; on n'y arrive guère qu'en abaissant le point de fusion à 3 500° en introduisant en dissolution une certaine quantité de chaux, ce qui a pour inconvénient de diminuer la richesse du produit en carbure. Celle-ci atteint ainsi 76 à 81 p. 100 ce qui correspond à 280 à 300 litres d'acétylène par kilogramme de matière, mesurés à 15° C et à la pression 760 mm de mercure. Dans les fours discontinus, on atteint très facilement une richesse de 85 à 90 p. 100, soit 296 à 314 litres d'acétylène à 0° et 760 mm de pression. Si dans ce dernier cas, on se contente d'une teneur de 76 à 81 p. 100, soit environ 10 p. 100 en moins, on augmente considérablement (de 15 à 20 p. 100) le rendement en kilowatts-jour par suite de l'abaissement de la température dans le four.

Tous les frais divers : transport, emballage, etc., sont donc proportionnellement plus élevés dans le cas des fours continus.

Ce qui est très remarquable dans le cas de l'exploitation discontinue, c'est que la formation du carbure continue à se produire après la rupture du courant et pendant la longue période de refroidissement de la masse.

Kiesewetter et Borchers ont montré que la réduction de la chaux par le charbon a encore lieu à 1 200, à 1 500°.

En pratique, on constate qu'après une heure à une heure trente de refroidissement, il se dégage encore du four de l'oxyde de carbone ce qui est l'indice d'une formation du carbure. Cette constatation a lieu alors même qu'aucune rentrée d'air ne peut se produire dans le four ce qui exclut la possibilité d'une combustion en oxyde de carbone du charbon de la masse. Si on retire du four trop prématurément le bloc de carbure, l'oxyde de carbone brûle par tous les trous et fissures de la masse; celle-ci concassée présente un aspect spongieux dû au dégagement de gaz pendant le refroidissement.

Cette combinaison de la chaux et du charbon en dissolution dans le carbure pendant le refroidissement est encore facilitée par le phénomène de surfusion que présente à un très haut degré le carbure. On remarquera que ce phénomène est troublé dans le cas des fours continus par suite de l'agitation du carbure pendant la coulée.

Le D[r] Wolff découvrit le premier que certains carbures donnaient du gaz acétylène renfermant une proportion notable d'hydrogène par suite de la présence de calcium métallique dans le carbure.

Dans les carbures provenant de fours continus, on trouve toujours une proportion de calcium métallique pouvant varier de 5 à 10 p. 100. Par contre, il n'en existe pas dans les carbures provenant de fours discontinus comme ceux de la « Deutschen Gold-und Silber-Scheide-Anstalt. »

On a vu plus haut qu'une des raisons de cette différence est la dissociation du carbure qui augmente avec la température. Il faut ajouter à cela que dans le cas où la masse refroidit lentement dans le four, le calcium métallique se combine directement au charbon en $Ca\,C^2$ et que cette réaction a lieu encore à la température de 800°.

Il y a donc encore à ce nouveau point de vue avantage à employer une exploitation discontinue.

On peut calculer les pertes en énergie calorifique de chacun des deux systèmes par la formule

$$w = c\,\frac{t_1 - t_2}{l}$$

où W est la quantité de chaleur transportée à travers une paroi $t_1 - t_2$ la différence de tempé-

rature entre les deux côtés de cette paroi et l son épaisseur, c étant la conductibilité spécifique.

Dans les fours continus, le côté intérieur de la paroi étant à 3 500° tandis qu'il ne dépasse pas 1 000° dans les fours discontinus, la perte de chaleur dans le premier cas sera 3,5 fois plus grande.

En calculant par la formule de Peclet la quantité totale de chaleur perdue par rayonnement et par convection dans un four normal de la fabrique de carbure citée plus haut, l'auteur arrive aux résultats suivants :

$$W = mK_1t + nK_2t$$
$$K_1 = 2,77 \text{ pour le fer } K_2 = 4 \quad m = 1,62 \quad n = 1,61$$

en prenant pour la surface extérieure du four enveloppé de tôles de fer 7,5 m², et pour la température de cette surface pendant l'opération 100° C. D'où il résulte pour W la valeur 1 093 calories par mètre carré et par heure ce qui représente ici une perte de 9,46 kilowatts-heure par heure ou 6,3 p. 100 de la quantité d'énergie apportée au four.

Dans les mêmes conditions, un four continu perdrait $6,3 \times 3,5 = 22,1$ p. 100 de l'énergie fournie. En pratique, comme dans ce dernier cas, on fait les parois beaucoup plus épaisses, le rapport 3,5 peut être réduit à 2.

Pour rechercher comment la chaleur est employée dans les fours, l'auteur calcule d'abord les chaleurs spécifiques des corps en présence. Celles-ci sont, comme on sait, fonction de la température et peuvent être représentées par la formule $s = a + bt$, s étant la chaleur spécifique, t la température, a et b des constantes variant avec chaque corps.

Les corps en présence dans le four électrique sont : le carbone, l'oxyde de carbone, l'oxyde de calcium et le carbure de calcium.

Pour le premier, Violle [1] a trouvé par des déterminations entre 0 et 1 000°

$$s_c = 0,355 + 0,00006t.$$

L'oxyde de carbone, comme tous les gaz permanents, a une chaleur spécifique constante et égale à $s_{co} = 0,245$,

[1] *Comptes rendus*. Avril 1895.

ce qui donne pour la chaleur atomique

$$S_{co} = 6,86.$$

La chaleur atomique, déterminée par Gin [1], pour la chaux est égale à

$$S_{cao} = 11,4 + 0,001t.$$

Celle du carbure de calcium peut se calculer d'après la loi de Kopp, d'après laquelle on a

$$S_{cao} - S_o = S_{ca}.$$

Comme la chaleur spécifique de l'oxygène est constante et égale à $s_o = 0,25$ d'après les mesures de Regnault (entre 0 et 200°) ce qui donne $S_o = 4,0$ on obtient ainsi par application de cette formule pour le calcium,

$$S_{ca} = 11,4 - 4,0 = 7,4 \text{ à } 0° \text{ et } S_{ca} = 12,4 - 4,0 = 8,4 \text{ à } 1000°$$

d'où la formule

$$S_{ca} = 7,4 + 0,001t.$$

Des chaleurs atomiques de Ca et de C on tirera celle de Ca C² par la même loi et on aura

$$S_{cac2} = S_{ca} + 2S_c = 15,92 + 0,00244t.$$

Nous avons résumé dans le tableau suivant les chaleurs spécifique et atomique de ces différents corps pour des températures de 0 à 3 500°, d'après les équations ci-dessus :

Ces chiffres vont servir à calculer les quantités de chaleur en jeu dans les fours. Dans un four discontinu, au moment de la rupture du courant, le carbure est à une température de 3 000° environ et les matières non fondues à 2 000°. Après une heure trente la température est encore de 1 200 à 1 500°.

Pour 100 kg de carbure à 86 p. 100 CaC^2 et 14 p. 100 Ca O, on peut compter 35 kg de matières non fondues dont 14 kg C. et 21 kg CaO.

En calculant les quantités de chaleur W d'après l'intégrale

$$W = M \int_{t_0}^{t_1} s\,dt$$

M étant la masse, s la chaleur spécifique et t la

[1] *Acetylen in Wissenschaft und Industrie*, t. II, 1899, p. 160.

TEMPÉRATURES	CHALEURS SPÉCIFIQUES					CHALEURS ATOMIQUES				
	s_c	s_{co}	s_{cao}	s_{ca}	$s_{ca}c^2$	S_c	S_{co}	S_{cao}	S_{ca}	$S_{ca}c^2$
0°	0,355	0,245	0,2036	0,185	0,247	4,260	6,86	11,4	7,4	15,92
1000°	0,415	»	0,2214	0,210	0,271	4,980	»	12,4	8,4	18,36
1500°	0,445	»	0,2303	0,223	0,296	5,340	»	12,9	8,9	19,58
2000°	0,475	»	0,2393	0,235	0,325	5,700	»	13,4	9,4	20,80
2500°	0,505	»	0,2482	0,248	0,344	6,060	»	13,9	9,9	22,02
3000°	0,535	»	0,2571	0,260	0,363	6,420	»	14,4	10,4	23,24
3500°	0,565	»	0,2660	0,273	0,381	6,780	»	14,9	10,9	24,42

température du corps, on a pour la quantité de chaleur emmagasinée à l'arrêt du courant

86 kg CaC^2 à 3000°	78,932 calories	
14 » CaO à 3000°	9,675	»
21 » CaO à 2000°	9,300	»
14 » C à 2000°	11,620	»
Chaleur de fusion (inconnue) de CaC^2	x	
Total	109,527 + x calories.	

Quand on sort le bloc, la température étant 1 500°, il reste

86 kg CaC^2 à 1500°	35,543 calories	
14 + 21 » CaO à 1500°	11,391	»
14 » C à 1500°	8,400	»
Total.	55,334 calories.	

D'autre part, pendant une heure et demie, la perte par rayonnement et conductibilité est d'après ce qu'on a vu plus haut, de

$$1{,}5 . 1093 . 7{,}5 = 12.296 \text{ calories.}$$

la surface extérieure du four étant 7,5 m².

La quantité de chaleur absorbée par la formation du carbure pendant le refroidissement est ainsi

$$109527 + x - 55334 - 12296 = 41897 + x \text{ calories.}$$

Pour comparer les dépenses d'énergie des deux systèmes on pourra donc supposer que dans les fours discontinus les matières sont portées à 1 500° pendant que le carbure des fours continus est échauffé à 3 500°. En évaluant à 1 000° la température de l'oxyde de carbone qui se dégage et en prenant pour les chaleurs de formation

CaO solide	145,0 calories	(Moissan)	
CaC^2 »	3,9	»	(Gin)
CO gazeux	28,9	»	

les quantités de chaleur dépensées dans les deux cas sont, en supposant du carbure à 100 p. 100

	FOUR CONTINU	FOUR DISCONTINU
Echauffement de 1 CaC^2. . .	70 655 cal.	26 625 cal.
» 1 CO à 1000°	6 860 »	6 860 »
Chaleur de formation de 1 CaO	145 000 »	145 000 »
Chaleur de fusion (inconnue) de CaC^2.	+ x	
Total	222 515 + x	178 485
D'où il faut déduire :		
Chaleur de formation de 1 CaC^2	3 900	3 900
Chaleur de formation de 1 CO	28 900	28 900
Total	32 800	32 800
On doit donc fournir pour 1 CaC^2	189 715 + x	145 685
ou par kg de carbure fabriqué	2967,4 + x	2276

Si on effectue le calcul pour des richesses en Ca C² de 100 p. 100, 86 p. 100 et 76 p. 100, le reste étant Ca O, on obtient le tableau suivant :

En tenant compte des pertes par rayonnement et conductibilité qui, comme on l'a vu plus haut, s'élèvent à 6,3 et 12,6 p. 100 la dépense devient :

Il résulte de ces chiffres que le rendement maximum théorique qu'on peut atteindre avec un four continu est seulement égal à 75 p. 100 du rendement que peut donner un four discontinu. En pratique, on peut obtenir dans ce dernier cas un rendement très voisin du rendement calculé ci-dessus, alors qu'on s'en écarte davantage dans les fours continus où la dissociation du carbure est plus accentuée. C'est

	CARBURE A 100 P. 100		CARBURE A 86 P. 100		CARBURE A 76 P. 100	
	continu	discontinu	continu	discontinu	continu	discontinu
Formation de CaC^2 (1000 gr. 860 et 760).	2967,4 + x	2276	2552 + x	1957,4	2255,2 + x	1729,8
Echauffement de CaO (0 gr. 140 et 240)	0	0	115,1	46,1	197,2	78,1
Echauffement de 30 p. 100 de matières non fondues à 1500°	0	130,5	0	130,5	0	130,5
Total en calories	2967,4 + x	2406,5	2667,1 + x	2134	2452,4 + x	1938,4
Dépense en kilowatts heure par kg de carbure	3,43 + y	2,77	3,08 + y	2,46	2,83 + y	2,23

TENEUR DU CARBURE en pour 100 de CaC^2	FOURS CONTINUS		FOURS DISCONTINUS		RAPPORT des rendements entre les fours continus et discontinus en p. 100
	kw-h. par kg de carbure	kg de carbure par kw-jour	kw-h. par kg. de carbure	kg de carbure par kw-jour	
76	3,25 + y	7,4 — z	2,37	10,1	73,5 — u
86	3,52 + y	6,8 — z	2,62	9,1	74,0 — u
100	3,92 + y	6,1 — z	2,95	8,1	75,3 — u

ainsi qu'un four de l'usine de carbure de Julius Vorster à Hagen (Westphalie) a pu fournir par kilowatt-jour 8 à 9 kg de carbure à 70 p. 100. A l'usine de Deutschen Gold-und Silber-Scheide-Anstalt » on obtient couramment 5,8 à 6,5 kg de carbure à 76 p. 100 par kilowatt-jour alors qu'un four continu ne donne que 4,5 kg dans les mêmes conditions.

On prétendait aussi précédemment que les fours continus fabriquaient un produit plus uniforme. Cette prétention est encore combattue par M. Birger Carlson qui a trouvé sur 5 échantillons provenant d'une des plus grandes usines travaillant par la méthode continue, des différences de 11 p. 100 sur la teneur en carbure de calcium. D'aussi grandes différences n'existent pas dans les fours discontinus.

Si à ces avantages on ajoute encore une plus grande facilité de travail qui diminue la main-d'œuvre, un prix d'achat plus faible, un entretien moins considérable, on pourra conclure avec l'auteur que dans le four de l'avenir, la haute température sera obtenue par l'arc, et la méthode de travail employée sera la méthode discontinue. L. J.

MESURES

Mesures d'isolement Martin Kallmann. Brevet anglais n° 12438, déposé le 2 juin 1898, accepté le 18 mars 1899. (7 figures).

La méthode de mesure des isolements proposée par Martin Kallmann repose sur la mesure des *différences* d'intensité que présente le courant dans l'étendue du circuit ; elle ne tient aucun compte du potentiel du circuit par rapport à la terre, ni du courant qui passe du conducteur à la terre, par les défauts d'isolement ; de plus, elle indique les fuites entre deux points, indépendamment de celles qui peuvent exister dans le reste du circuit.

En principe, la méthode consiste à mesurer la différence de potentiel aux bornes de deux résistances égales placées en deux points du circuit. Soient W ces résistances (fig. 1) ; si nous plaçons, en dérivation sur chacune d'elles, un des circuits d'un galvanomètre différentiel, celui-ci restera au zéro si les intensités sont les mêmes entre 1-2 et 3-4, c'est-à-dire s'il n'y a pas de défaut entre ces points. Si, au contraire, le galvanomètre dévie, sa déviation est proportionnelle à la différence des deux intensités, laquelle n'est autre chose que l'intensité du courant dans la *fuite*. On peut mesurer la déviation ou ramener le galvanomètre au zéro en faisant varier les

rhéostats *h* intercalés dans les deux circuits du différentiel.

La même méthode peut être plus facilement réalisée à l'aide du dispositif du pont double, qui sert à la mesure des faibles résistances, mais ici les résistances W sont égales (fig. 2), les intensités qui les traversent diffèrent seules. Cette disposition exige seulement un galvanomètre sensible et d'assez grande résistance ; comme précédemment, la déviation du galvanomètre indique la valeur du courant de fuite, ou on peut, en changeant le rapport des quatre résistances *h*, ramener le galvanomètre au zéro.

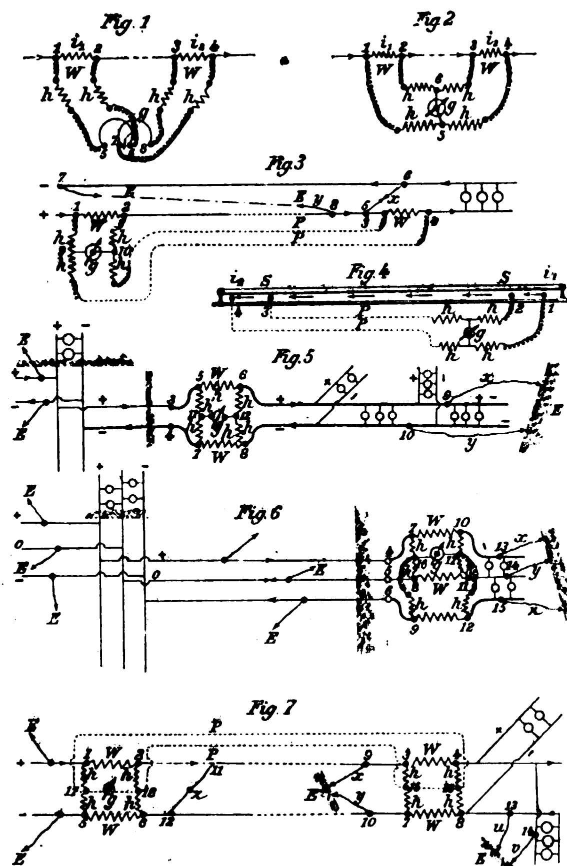


Fig. 1 à 7.

Dans la figure 3, on voit l'application de la méthode à la mesure des pertes le long d'un seul conducteur : à l'aide des fils de secours P, la résistance intercalée entre 3 et 4 est reliée au pont double et le galvanomètre indique les fuites qui se produisent à la terre, en E, ou entre les deux conducteurs, en X, indépendamment des autres défauts qui peuvent exister en dehors, en 7 par exemple.

La même méthode peut être appliquée à la mesure des pertes le long d'un rail (fig. 4) ; dans ce cas, les résistances sont prises directement sur le rail lui-même.

Si on veut mesurer les pertes totales à la terre d'un circuit (fig. 5), les résistances W sont intercalées sur chacun des conducteurs, entre 5-6 et 7-8 ; le galvanomètre indique alors les pertes totales dans la partie du circuit opposée à la source, à droite de 6-8 ; il est évident que les pertes dans la partie gauche n'interviennent pas dans la mesure.

La figure 6 montre le montage de la méthode sur une distribution à trois fils : il y a trois résistances W, une dans chaque conducteur, et six rhéostats *h* ; le galvanomètre *g* est intercalé entre les points 16 et 17, où se rejoignent trois à trois les rhéostats *h*. Quand un conducteur de l'installation ne reçoit pas de courant, l'ensemble des rhéostats *h* et de la résistance W de ce conducteur agit simplement comme un shunt sur le galvanomètre et la disposition se trouve ramenée à celle de la figure 5.

Enfin, on peut avoir à mesurer les pertes le long d'une ligne et dans l'installation qu'elle dessert (fig. 7). Dans ce cas, quatre résistances W sont employées, deux au commencement de la ligne, en 1-2 et 5-6, deux autres à l'entrée de l'installation, en 3-4 et 7-8. Si le galvanomètre est relié seulement entre 15 et 16, il indique les pertes de l'installation seules, *u* et *v* ; s'il est entre 17 et 18, il indique à la fois les pertes *u*, *v*, *x*, *y*, *z* ; mais s'il est relié en même temps à 15 et 18 d'une part, à 16 et 17 d'autre part, il indique seulement la différence des pertes, c'est-à-dire celles qui se produisent le long de la ligne, en *x*, *y* et *z*. H. A.

Résistances compensées Kelvin. Brevet anglais n° 21716, déposé le 15 octobre 1898, accepté le 19 août 1899. 1 figure.

Lord Kelvin fait breveter l'emploi d'une résistance composée de cuivre et de charbon, pour éviter les variations avec la température. Des lampes à incandescence sont mises en série avec la résistance en fil de cuivre, qu'il faut compenser, et le tout est renfermé dans la même boîte, de sorte que la température est la même partout. Comme le charbon diminue de résistance, tandis

que le cuivre augmente avec la température, on peut, en proportionnant les deux éléments, arriver à une compensation parfaite. Les lampes à incandescence ne sont pas poussées à leur état

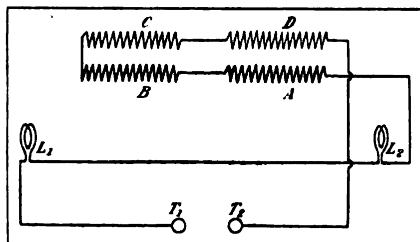


Fig. 1.

normal, elles doivent rester au-dessous. Le dessin (fig. 1) représente schématiquement un électro-dynamomètre avec deux bobines fixes A, B et deux bobines mobiles D, C ; les lampes sont L_1 et L_2. H. A.

Dynamomètre à frein électrique, par **A. Gran**, *Elektrotechnische Zeitschrift* ; t. XXI, p. 265, 5 avril 1900.

Si l'on veut faire des mesures exactes au frein de Prony, il faut que le travail de frottement entre le frein et la poulie reste rigoureusement constant pendant chaque mesure. Cette condition n'étant jamais complètement réalisée, il en résulte des erreurs assez notables. On peut cependant arriver à obtenir un travail de freinage constant de la façon suivante : sur l'arbre de la machine, on fixe un disque de cuivre, embrassé par les pôles d'un électro-aimant en fer à cheval. Cet électro-aimant est porté par la plus courte branche d'un levier dont la plus longue branche porte un poids curseur (fig. 1). Les courants de Foucault induits dans le cuivre produisent une action de freinage qui à vitesse et excitation constantes se mesure avec le poids mobile. On peut varier la charge soit en variant le courant, soit en changeant la distance des pôles.

Soit R la distance du point d'application de la force de freinage au centre du disque, n le nombre de tours : minute. Le travail en chevaux est exprimé par

$$A = \frac{2R\pi nP}{60.75} = KnP.$$

P est déterminé par la position du curseur

$$P = \frac{(L - b)\,G}{a} = \frac{xG}{d} = Cx.$$

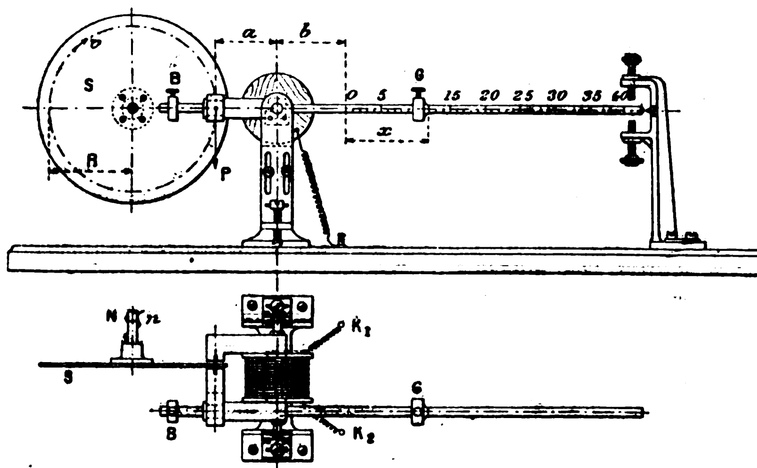


Fig. 1. — Dynamomètre électrique.

Donc la force de freinage est proportionnelle au déplacement nx du curseur. Donc

$$A = KnCx = C'nx,$$

C' étant une constante.

La puissance de la machine est donc proportionnelle au produit du nombre de tours par le déplacement du curseur.

Cas particuliers : 1° On fait varier l'excitation de façon à maintenir n constant. Alors $A = Dx$ et la puissance est lue directement sur le curseur.

2° Si on marche à puissance constante on a

$$nx = C^{te}.$$

hyperbole équilatère ;

3° Si à puissance variable on fait varier l'excitation de manière à laisser le curseur immobile, on a

$$A = C''n.$$

La puissance est proportionnelle à la vitesse.

Dans tous les cas, il est inutile de connaître l'intensité du courant, il suffit de le maintenir
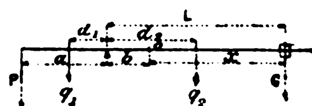


Fig. 2.

constant. Si d'ailleurs il varie, on en est immédiatement averti par la rupture de l'équilibre.

Deux causes d'erreur peuvent influer sur l'exactitude des résultats.

1° Le disque de cuivre en tournant peut entraîner une masse d'air qui pourrait exercer une pression sur l'électro-aimant. Cette cause d'erreur est presque négligeable si l'entrefer n'est pas trop faible. Pour la mesurer exactement, on pourrait remplacer l'électro-aimant par un appareil de même forme et non magnétique, puis on ferait tourner le moteur à la même vitesse et on mesurerait le couple avec le curseur.

2° Dans le cas d'électromoteurs, le disque de cuivre pourrait traverser un certain nombre de lignes de force de dispersion, lesquelles produiraient un couple de freinage non mesuré par le dynamomètre. Ce couple est toujours très faible : on peut le mesurer ainsi. On commence par faire tourner le moteur muni de son disque de cuivre et on mesure la puissance fournie au moteur ; on remplace ensuite le disque de cuivre par un disque en celluloïd, on fait tourner le moteur à la même vitesse et on mesure de nouveau la puissance : la différence des deux mesures donne la mesure de l'erreur due à la dispersion. E. B.

Loch électrique Jones. Brevet anglais n° 17 256, déposé le 25 août 1899, accepté le 30 septembre 1899 (3 figures).

L'appareil de Levin Th. Jones a pour but de transmettre en un point quelconque d'un navire l'indication du chemin parcouru, donnée par le loch.

Le loch employé ici se compose d'un propulseur — non indiqué sur la figure, — porté à l'extrémité de l'arbre D, figure 1.

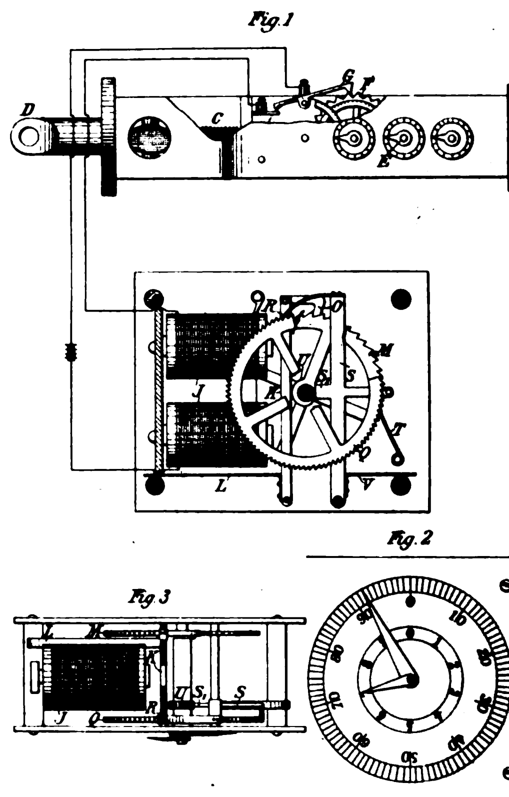


Fig. 1 à 3. — Loch électrique Jones. Ensemble, cadran et détails du récepteur.

En tournant le propulseur entraîne la vis sans fin C, laquelle engrène avec la première roue d'une série d'engrenages qui font mouvoir des aiguilles sur des cadrans E. Dans les conditions ordinaires le loch est jeté à la mer et tenu à une assez grande distance du navire au moyen d'un cordage ; on le ramène au bout d'un temps déterminé pour lire le nombre de tours fait par le propulseur, ce qui permet de connaître la vitesse du navire.

L'inventeur ajoute ici une roue F, dans les dents de laquelle s'engage un levier G. Chaque fois qu'une dent passe sous le levier, celui-ci vient établir un contact en H et ferme un circuit dans lequel se trouve l'appareil récepteur. Ce dernier se compose très simplement d'un

électro J qui attire une armature K et comme celle-ci est munie d'un cliquet O, engagé dans la roue à rochet M, à chaque contact le cliquet fait avancer la roue M. Un ressort porté par le levier S, s'engage dans le rochet Q et comme ce levier porte une projection S_1 qui s'appuie sur la lame U, la roue Q avance d'une dent à chaque tour de M. Des aiguilles indiquent sur un cadran divisé le nombre de contacts et, par suite, le chemin parcouru par le navire. H. A.

MAGNÉTO-OPTIQUE

Etude du phénomène de Zeemann par la méthode interférentielle, par **J. Shedd**. *Physical Review*, t. IX. p. 1-19 et 86-115. Résumé dans le *Journal de Physique*, 3e série, t. IX, p. 349.

Dans la première partie de cet important mémoire, il est fait d'abord une étude historique de la question. On y rappelle, fait peu connu, que des expériences de M. Fiévez avaient déjà manifesté une partie des résultats obtenus ultérieurement par Zeemann, entre autres l'apparition d'une raie brillante au milieu de la raie noire D, élargie par le champ magnétique. On rappelle également, en l'exposant, une théorie établie par Stoney en modification de celle de Lorentz et qui rend compte des effets non explicables par cette dernière. Enfin une comparaison entre les méthodes d'observation par la spectroscopie ou par l'interféromètre de Michelson, montre les avantages de cette dernière. Elle permet d'apprécier l'effet d'un champ magnétique inférieur à 1000 et a été employée de préférence pour les recherches originales de ce travail.

Des expériences préliminaires faites, pour la raie D, avec des sources à températures croissantes (bec Bunsen, gaz oxhydrique, tube Plücker) montrent :

1° Qu'à la température du bec Bunsen il existe une sorte de contrainte ou de retard à la production du phénomène, qui est subitement surmontée quand le champ atteint 9500 ;

2° Que cette contrainte diminue quand la température s'élève et est pratiquement nulle aux températures les plus élevées de la flamme oxhydrique et dans le tube à vide.

3° Que le changement de longueur d'onde atteint un maximun vers H = 11 000, qui dépend de la température et de la pression de la source de radiations.

Le tube à vide fut, pour cette raison, choisi pour les expériences ultérieures faites sur ;

Na (raies D_1 D_2) : Zn ($\lambda = 4\,810{,}724$) ;
Hg ($\lambda_1 = 5\,790{,}49$; $\lambda_2 = 5\,460{,}97$; $\lambda_3 = 4\,358{,}56$) ;
Cd ($\lambda_1 = 6\,438{,}9$; $\lambda_2 = 5\,086{,}3$; $\lambda_3 = 4\,800$).

Les principaux résultats peuvent être résumés dans le tableau suivant :

SUBSTANCE.	RAIE.	EFFET MAGNÉTIQUE $\lambda - \lambda'$ POUR	
		H = 5 000	H = 10 000
Sodium. . .	Jaune.	0,207	0,414
Mercure . .	Jaune.	0,128	0,256
— . .	Verte.	0,155	0,310
— . .	Violette.	0,120	0,240
Cadmium . .	Rouge.	0,131	0,262
— . .	Verte.	0,120	0,240
— . .	Bleue.	0,137	0,274
Zinc	Bleue.	0,144	0,278

On peut aussi, partant de la théorie de Lorentz, trouver le rapport $\frac{e}{m}$ de la charge ionique à la masse ionique ; ce rapport a les valeurs suivantes :

SUBSTANCE.	RAIE.	$\frac{e}{m}$	TYPE DE RAIES (MICHELSON).
Cadmium . .	Rouge.	$11{,}93 \times 10^6$	Type I.
Mercure. . .	Jaune.	$14{,}35 \times 10^5$	
Cadmium . .	Verte.	$17{,}48 \times 10^5$	Type II.
Mercure. . .	Verte.	$18{,}59 \times 10^5$	
Zinc	Bleue.	$23{,}46 \times 10^5$	Type III.
Cadmium . .	Bleue.	$22{,}41 \times 10^5$	
Mercure. . .	Violette.	$23{,}81 \times 10^5$	
Sodium. . .	Jaune.	$22{,}45 \times 10^5$	

Les raies se trouvent ainsi, comme l'avait montré Michelson, rangées dans trois catégories ; plus $\frac{e}{m}$ est petit, pour une raie donnée, moindre est l'éloignement des composantes magnétiques, et plus la structure est simple.

Réflexion de la lumière sur la surface d'un aimant, par **F.-J. Micheli**. *Dr. Ann.*, t. I, p. 542-566, mars 1900.

Kerr a découvert que la lumière réfléchie sur la surface d'un aimant éprouve une rotation du plan de polarisation. Quand les lignes de force magnétique sont parallèles à la surface du miroir et au plan d'incidence de la lumière, la rotation a lieu dans le même sens pour toutes les incidences quand la lumière incidente est polarisée dans le plan d'incidence. Si la lumière incidente est polarisée perpendiculairement au plan d'in-

cidence, la rotation change de sens pour une certaine incidence critique.

Micheli a cherché si cette incidence dépendait de l'état de la surface du miroir. Il a employé la méthode expérimentale de Drude, en étudiant la lumière réfléchie au moyen d'un compensateur de Babinet et d'un analyseur. Sur l'acier, le nickel, le cobalt, les impuretés superficielles tendent à diminuer la valeur de l'incidence critique.

Les résultats expérimentaux ne s'accordent pas très bien avec les résultats calculés en employant une seule constante, comme le faisait Drude. En substituant à cette constante réelle une imaginaire, on obtient une concordance plus satisfaisante. Et même dans le cas du nickel, les nouvelles formules ne suffisent pas. Les écarts peuvent s'expliquer en partie en admettant que l'aimantation du miroir n'est pas uniforme. La théorie ainsi étendue permet de calculer une valeur approximative de ces écarts. En comparant les nombres donnés par ce calcul à ceux que donne l'observation, on trouve que, dans les conditions énoncées au début, l'aimantation du nickel et du cobalt est un peu plus petite sur leur surface que dans leur intérieur : l'épaisseur de la couche superficielle dont il suffit d'admettre l'existence est égale pour le nickel à 1/15 de la longueur d'onde de la lumière dans l'air, pour le cobalt à 1/50 de cette longueur. M. L.

THERMO-ÉLECTRICITÉ

Sur la mesure des phénomènes thermoélectriques, par **P. Stranco**. *Il Nuovo Cimento*, t. X, p. 269, octobre 1899.

L'étude des phénomènes thermo-électriques nécessite l'observation de la température des conducteurs pour déterminer leur mesure. Les coefficients de conductibilité thermique sont des plus importants dans ces calculs, malheureusement ils ne sont connus que d'une manière approximative, de sorte que l'on a préféré employer les méthodes calorimétriques qui moins exactes laissent de côté la considération des quantités de chaleur mises en mouvement par conductibilité.

On voit aussitôt l'inconvénient de cette marche, ainsi dans le cas de l'effet Peltier, pour pouvoir négliger la chaleur propagée le long du conducteur, il faut réduire les dimensions, de sorte que l'importance de l'effet Joule augmente et masque en partie l'effet que l'on peut étudier.

La divergence entre les valeurs obtenues par les différents observateurs dans l'étude de la conductibilité métallique tient en partie à de très petites différences dans l'état de pureté des substances, de sorte qu'il faut mesurer directement les coefficients cherchés sur les pièces mêmes du métal que l'on veut expérimenter.

Les méthodes qui permettent la détermination simultanée des coefficients des phénomènes thermo-électriques et des autres coefficients dont dépend la température des conducteurs linéaires sont très simples [1]. L'auteur applique le calcul aux cas de l'effet Thomson et à celui de l'effet Peltier. Comme vérification de l'exactitude de cette méthode il prend les calculs en sens inverse et déduit de ses formules la valeur $3{,}95 \times 10^7$ pour l'équivalent mécanique de la calorie.

G. G.

Théorie de la thermoélectricité et de la conductibilité calorifique, par **O. Wiedeburg** *Dr. Ann.*, t. I, p. 758-790, avril 1900.

Comme l'auteur le fait remarquer au début de son mémoire, il n'a pas manqué en ces derniers temps de théories de la thermoélectricité. Ici même nous avons exposé d'une manière complète la théorie de Riecke [2], qui peut servir d'exemple. Il nous entraînerait beaucoup trop loin de traiter tout ce qui paraît sur le sujet avec autant de développement. Nous nous contenterons de reproduire les conclusions de Wiedeburg.

Wiedeburg généralise la théorie qu'il a donnée des phénomènes irréversibles pour l'appliquer à un corps hétérogène ; ce corps peut être de substance homogène, mais son état physique varie d'un point à l'autre ; tel est, par exemple, un corps traversé par un courant électrique et calorifique.

En même temps, il introduit dans les équations non seulement les courants dus à la con-

---

(1) Voir aussi Peterson: *Ueber die Messung des Thomson schen Effektes*. Inaugural Dissertation, Zurich, 1895.

(2) *Éclair. Élect.*, t. XVIII, p. 204, 290, etc.

duction proprement dite, mais aussi les courants résultant de l'entraînement. Il admet encore qu'il y a réciprocité entre les deux entraînements, celui de la chaleur par l'électricité et celui de l'électricité par la chaleur, c'est-à-dire que les deux coefficients d'entraînement sont égaux.

En s'appuyant sur ces hypothèses, on démontre que la résistance électrique et le coefficient de Thomson (chaleur spécifique de l'électricité) sont proportionnels à la température absolue, ce qui est conforme à l'expérience.

On retrouve également les relations connues entre l'effet Thomson, l'effet Peltier et le pouvoir thermoélectrique, en admettant que le saut de potentiel est le même aux deux soudures.

Enfin le phénomène désigné sous le nom de conduction calorifique ne peut être regardé comme un phénomène exclusivement thermique, du moment que les variations thermiques sont liées forcément à des variations dans l'état d'agrégation de la substance ; la définition de la conductivité calorifique serait donc plus compliquée qu'on ne le suppose d'ordinaire ; on s'explique ainsi les difficultés qu'on rencontre lorsqu'on veut relier par une loi rigoureuse les valeurs de cette conductivité dans les différentes substances et cette conductivité elle-même à la conductivité électrique. M. L.

Régime de température d'un conducteur chauffé par un courant électrique, par **F. Kohlrausch**. *Dr. Ann.*, t. I, p. 132-159, janvier 1900.

Id., par **H. Diesselhorst**. *Dr. Ann.*, t. I, p. 312-326, février 1900.

Dans un conducteur dont la conductibilité électrique est λ et la conductibilité calorifique $\varkappa$, le régime de température est caractérisé par l'équation différentielle :

$$\varkappa\left[\left(\frac{dv}{dx}\right)^2+\left(\frac{dv}{dy}\right)^2+\left(\frac{dv}{dz}\right)^2\right]+\frac{d}{dx}\left(\lambda\frac{du}{dx}\right)+\frac{d}{dy}\left(\lambda\frac{du}{dy}\right)+\frac{d}{dz}\left(\lambda\frac{du}{dz}\right)=0 \quad (1)$$

u et v étant la température et le potentiel électrique au point de coordonnées (x, y, z).

De plus, le potentiel doit satisfaire à la condition de continuité, soit :

$$\varkappa\left(\frac{d^2v}{dx^2}+\frac{d^2v}{dy^2}+\frac{d^2v}{dz^2}\right)+\frac{d\varkappa}{dx}\frac{dv}{dx}+\frac{d\varkappa}{dy}\frac{dv}{dy}+\frac{d\varkappa}{dz}\frac{dv}{dz}=0. \quad (2)$$

S'il s'agit d'un seul conducteur homogène, $\varkappa$ et λ ne sont plus fonctions que de la température seule et cette dernière équation devient en appelant $\varkappa'$ et λ' leurs dérivés :

$$\varkappa\left(\frac{d^2v}{dx^2}+\frac{d^2v}{dy^2}+\frac{d^2v}{dz^2}\right)+\varkappa'\left(\frac{du}{dx}\frac{dv}{dx}+\frac{du}{dy}\frac{dv}{dy}+\frac{du}{dz}\frac{dv}{dz}\right)=0. \quad (2')$$

Ces équations (1) et (2)' définissent le problème quand on leur joint les conditions aux limites.

Ces conditions aux limites seront $u_1=$const., $v_1=$ const., $u_2=$ const., $v_2=$ const., sur certaines surfaces dites électrodes : $\frac{du}{dn}=\frac{dv}{dn}=0$ sur toute autre surface limite.

Sous cette forme générale, la discussion serait fort compliquée.

Le calcul se simplifie dans certains cas particuliers.

Les surfaces équipotentielles coïncident avec les surfaces isothermes : c'est ce qui arrivent par exemple si le courant est amené au conducteur par deux électrodes maintenues à un potentiel constant et à une température constante. L'équation du régime stationnaire prend alors la forme :

$$\frac{\varkappa}{\lambda}+\frac{d^2u}{dv^2}+\left(\frac{\lambda'}{\lambda}-\frac{\varkappa'}{\varkappa}\right)\left(\frac{du}{dv}\right)^2=0 \quad (3)$$

où ne figurent plus les coordonnées.

En écrivant :

$$\frac{\varkappa}{\lambda}+\frac{d^2u}{dv^2}+\frac{\varkappa}{\lambda}\frac{d}{du}\left(\frac{\lambda}{\varkappa}\right)\left(\frac{du}{dv}\right)^2=0$$

on voit immédiatement que l'équation ne dépend que du rapport $\frac{x}{\lambda}$. En d'autres termes :

La température de régime atteinte par le conducteur ne dépend que du rapport de la conductibilité calorifique à la conductibilité électrique. Pour la plupart des métaux purs ce rapport a à peu près la même valeur, valeur qui paraît être la plus grande qui existe.

On obtiendrait donc avec ces métaux la température la plus élevée possible et cette température serait indépendante des conditions géométriques et des propriétés spécifiques des conducteurs rentrant dans cette classe.

Diesselhorst, par un changement de variables et l'application du théorème de Green généralisé par Thomson, ramène l'intégration et la discussion à celles d'une équation de Laplace. Il démontre que le problème admet une solution unique, du moment où λ et ϰ sont des fonctions de u bien déterminées, continues et constamment positives.

L'intégrale de l'équation (3) peut être mise sous la forme :

$$\int \frac{\lambda}{\varkappa}\, du = -\frac{1}{2} v^2 + Av + A'$$

où A et A' sont des constantes qu'on déterminera par la relation qui existe entre les valeurs du potentiel et les valeurs correspondantes de la température en trois points :

$$v_1 \int_{u_2}^{u_3} \frac{\lambda}{\varkappa}\, du + v_2 \int_{u_3}^{u_1} \frac{\lambda}{\varkappa}\, du + v_3 \int_{u_1}^{u_2} \frac{\lambda}{\varkappa}\, du = \frac{1}{2} (v_1 - v_2)(v_2 - v_3)(v_3 - v_1)$$

ou en désignant par $\left(\frac{\lambda}{\varkappa}\right)_{12}$ la moyenne arithmétique,

$$\frac{1}{u_1 - u_2} \int_{u_1}^{u_1} \frac{\lambda}{\varkappa}\, du$$

de $\frac{\lambda}{\varkappa}$ dans l'intervalle de u_1 à u_2 :

$$v_1 (u_3 - u_1)\left(\frac{\lambda}{\varkappa}\right)_{2,3} + v_2 (u_1 - u_3)\left(\frac{\lambda}{\varkappa}\right)_{13} + v_3 (u_2 - u_1)\left(\frac{\lambda}{\varkappa}\right)_{1,2} = \frac{1}{2} (v_1 - v_2)(v_2 - v_3)(v_3 - v_1).$$

Quand $\frac{\lambda}{\varkappa}$ est constant, les signes $\int$ disparaissent et il reste seulement,

$$\frac{\lambda}{\varkappa} u = -\frac{1}{2} v^2 + Av + A'$$

$$\frac{\lambda}{\varkappa} [v_1 (u_3 - u_2) + v_2 (u_1 - u_3) + v_3 (u_2 - u_1)] = \frac{1}{2} (v_1 - v_2)(v_2 - v_3 (v_3 - v_1).$$

Ces équations définissent la température u_3 et le potentiel v_3 quand la température et le potentiel en deux autres points, $u_1\ v_1$, $u_2\ v_2$ sont donnés.

La température maxima $u_m \left(\frac{du_m}{dv} = 0\right)$, dans le cas où $\frac{\lambda}{\varkappa}$ est constant est déterminée par l'équation :

$$u_m - \frac{u_1 + u_2}{2} = \frac{1}{8} \frac{\varkappa}{\lambda} E^2 + \frac{1}{2} \frac{\lambda}{\varkappa} \frac{(u_1 - u_2)^2}{E^2}$$
$$(E = v_1 - v_2).$$

Ce maximum de température ne se trouve donc pas en général au point où le potentiel a sa valeur moyenne $\frac{v_1 + v_2}{2}$, mais il correspond à un potentiel plus voisin de celui de l'électrode chaude et qui en diffère de la quantité positive.

$$\frac{\lambda}{\varkappa} \frac{u_2 - u_1}{v_2 - v_1}.$$

Le maximum ne coïncide avec le potentiel moyen que si les deux électrodes ont la même température ($u_2 = u_1$). Dans ces conditions, la valeur maxima de l'élévation de température est égale à :

$$u_m - u_0 = \frac{1}{8} \frac{(v_1 - v_2)^2}{\left(\frac{\lambda}{\varkappa}\right)}.$$

L'étude expérimentale du régime de température fournit donc un procédé pour déterminer $\frac{\lambda}{\varkappa}$ et par suite λ, car ϰ est facile à mesurer. On devra mesurer la température limite d'un solide de forme quelconque, le plus simple sera un barreau cylindrique, dont les extrémités seront maintenues à des températures constantes et dont la surface latérale est protégée autant que possible contre la déperdition.

Il sera nécessaire ou tout au moins avantageux d'employer des courants très intenses, pouvant atteindre 400 ampères s'il s'agit d'un bon conducteur.

Des expériences de ce genre ont été réalisées à la Reichsanstalt par Jæger et Diesselhorst [1].

La méthode donne précisément la valeur moyenne de $\frac{\lambda}{\varkappa}$ correspondant à l'intervalle $u - u_0$, u_0 étant la température des deux extrémités, u celle du point intermédiaire.

Lorsque le conducteur est hétérogène, le calcul de la répartition des températures est moins simple, parce que les surfaces équipotentielles

[1] *L'Éclairage Électrique*, t. XXII, p. 356.

et isothermes ne coïncident plus en général. Cette condition se trouvera réalisée encore, si les surfaces de contact des différents conducteurs homogènes sont des surfaces équipotentielles.

Un autre cas intéressant est celui d'un système formé par la réunion de plusieurs conducteurs de forme quelconque, mais ayant, avec des λ et des $\varkappa$ différents, le même $\frac{\lambda}{\varkappa}$. Les lignes de flux électrique et thermique sont alors réfractées à travers la surface de séparation et la solution donnée précédemment n'est compatible avec les conditions imposées sur cette surface que si on a la proportion :

$$\frac{\lambda_1}{\varkappa_1} = \frac{\lambda_2}{\varkappa_2}.$$

Autrement, les surfaces équipotentielles et isothermes ne peuvent se confondre au voisinage de la surface de séparation, à moins que cependant les lignes de flux ne soient normales à cette dernière.

Dans le cas le plus favorable, en prenant pour $\frac{\lambda}{\varkappa}$ la plus petite valeur trouvée par Jæger et Diesselhorst (elle se rapporte à l'aluminium), on trouve pour l'élévation maxima de température :

$$\frac{10^6}{8 \times 6,4} E^2 = 20000 \, E^2.$$

soit 2° pour 0,01 volt, 10° pour 0,022 et 200° pour 0,1 volt.

D'après les conclusions théoriques de Lorenz, le rapport $\frac{\lambda}{\varkappa}$ devrait être proportionnel à la température absolue :

$$\frac{\lambda}{\varkappa} = a\mathrm{T}$$

ce qui entraînerait la condition :

$$\mathrm{T}^2_m - \mathrm{T}_0^2 = \frac{1}{4a} E^2.$$

Cette loi de Lorenz ne se vérifie pas dans les expériences de Jæger et Diesselhorst : cependant pour un certain nombre de métaux, Cu, Ag, Au, Ni, Zn, Cd, Pb et Sn, les expériences et la théorie de Lorenz donnent des valeurs très voisines pour le rapport $\left(\frac{\lambda}{x}\right)_{100} : \left(\frac{\lambda}{x}\right)_{18}$. La constante r serait égale à 0,023 10^{-6}. On obtient alors pour l'élévation de température maxima les valeurs suivantes :

Température initiale . .	0°	(T = 273)			
Force électromotrice . .	0,01 volt	0,1	1	2	3
Élévation de température	+ 1°,92	155	3040	6330	9630
Température initiale E —	— 183 (ébullition de l'air liquide)				
Force électromotrice E.	0,01	0,1	1		
Élévation de température	5,9	252	3210°		

La quantité de chaleur dégagée dans un conducteur sera indépendante, comme la température des propriétés spécifiques du conducteur et des conditions géométriques : la répartition de cette quantité de chaleur sur les diverses températures qui règnent dans le conducteur est indépendante aussi des conditions géométriques.

Dans ce qui précède on n'a pas tenu compte de l'effet Thomson. Diesselhorst a calculé l'influence de ce phénomène.

Il faut introduire dans le premier membre de l'équation (1) le terme :

$$\sigma\varkappa\left(\frac{du}{dx}\frac{dv}{dx} + \frac{du}{dy}\frac{dv}{dy} + \frac{du}{dz}\frac{dv}{dz}\right)$$

où σ désigne la chaleur spécifique de l'électricité, qui est une fonction de la température, admettant les valeurs négatives comme les positives.

L'équation admet encore une solution unique de la forme :

$$\frac{\lambda}{\varkappa}\frac{du}{dv} = -\frac{1}{2}v^2 + \mathrm{A}v + \mathrm{B} - \int \sigma du.$$

On peut intégrer complètement, comme l'a fait Voigt, quand on admet que

$$\sigma = \text{const.} \qquad \frac{d\left(\frac{\lambda}{\varkappa}\right)}{du} = a = \text{const.}$$

ou comme le fait Diesselhorst que :

$$\sigma . \frac{\varkappa}{\lambda} = \text{const}$$

condition réalisée si σ est proportionnel à la température absolue (Tait) ainsi que $\frac{\lambda}{\varkappa}$ (Lorenz).

L'influence du phénomène de Thomson croît avec la différence de potentiel (comptée à partir du potentiel correspondant à la température

maxima) : la variation de température qui en résulte peut atteindre 1 p. 100. Mais cette influence s'annule quand les deux électrodes sont maintenues à la même température. Au contraire, elle sera prononcée quand les températures extrêmes seront très différentes, ce qui permettrait de la déterminer en renversant le sens du courant : des résultats on pourrait conclure la grandeur de l'effet Thomson.

En prenant pour les températures extrêmes 0° et 100°, et entre les électrodes une différence de potentiel de 0,02 volt, la variation de la température au milieu quand on renverse le courant serait de 0°,05 à 0°,5, l'élévation de température due à la chaleur de Joule étant de 7 à 8°.

Aux températures plus élevées, le rapport est plus favorable. M. L.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

ACADÉMIE DES SCIENCES

Séance du 2 juillet 1900.

Sur les propriétés thermo-électriques de divers alliages, par **Emile Steinmann.** *Comptes rendus*, t. CXXXI, p. 34.

Parmi les résultats obtenus par l'auteur dans son étude des propriétés thermoélectriques de divers alliages et communiqués à l'Académie des Sciences le 14 mai [1], il en est un qui paraissait douteux : c'est celui relatif à l'acier au nickel à 28 p. 100 de ce dernier métal. M. Steinmann avait en effet trouvé — 2461 microvolts pour la force électromotrice entre 0° et 100°, d'un couple formé de cet alliage et de plomb, valeur de beaucoup supérieure à celle du couple Alliage à 26 p. 100 | Pb qui est de — 266,7 microvolts et à celle du couple Alliage à 30,4 p. 100 | Pb qui est de — 618,3 microvolts.

M. Steinmann ayant fait depuis l'analyse chimique de cet alliage a reconnu qu'il y avait erreur dans l'indication de la proportion de nickel ; cette proportion est en réalité de 36,1 p. 100.

Un échantillon authentique d'alliage à 28 p. 100 de nickel, prêté par M. Guillaume, a donné comme force électromotrice par rapport au plomb, — 385 à 386 microvolts entre + 20° et + 260°.

Cette rectification ne modifie en rien les conclusions générales que M. Steinmann tirait de son étude.

[1] *L'Éclairage Électrique*, t. XXIII, p. 331, 26 mai 1900.

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE

Séance du 15 juin 1900.

Comparaison entre le thermomètre de platine et le thermomètre à azote, par **P. Chappuis** et **J.-A. Harker**.

M. Chappuis expose les résultats des comparaisons entre le thermomètre à résistance de platine et le thermomètre à azote, effectuées au Bureau international des Poids et Mesures, à l'instigation de l'Observatoire de Kew, afin d'établir la marche du thermomètre de platine en fonction de l'échelle normale des températures.

Les expériences ont été faites en commun par M. J.-A. Harker, *research assistent* de l'Observatoire de Kew, qui s'était chargé des mesures électriques, et par M. P. Chappuis, plus spécialement occupé par les observations du thermomètre à gaz.

Les trois thermomètres de platine soumis aux comparaisons étaient accompagnés des appareils de mesure, construits à cet effet en Angleterre, et appartenant à l'Observatoire de Kew.

Les comparaisons comprennent les trois groupes d'expériences suivants :

1° Comparaisons dans l'intervalle de température (— 23° à 100°) des thermomètres de platine avec quatre thermomètres étalons à mercure du Bureau international, dont l'échelle avait été déterminée avec précision par des comparaisons directes avec le thermomètre à hydrogène ;

2° Comparaisons dans l'intervalle (100° à 200°) avec un thermomètre à azote sous volume constant dont le réservoir était en verre dur. Pres-

sion initiale, 793 mm environ. Les thermomètres étaient comparés dans un bain d'huile occupant le milieu d'une chaudière, dans laquelle on pouvait entretenir l'ébullition de divers liquides sous différentes pressions ;

3° Comparaisons dans l'intervalle (250° à 450°) avec un thermomètre à azote sous volume constant avec réservoir de porcelaine. Pression initiale, 525 millimètres. Ces mesures ont été faites dans un bain composé de nitrates de soude et de potasse, qui a servi également jusqu'à 589° pour quelques observations supplémentaires sur un seul thermomètre de platine.

Les résultats de ces comparaisons confirment, d'une manière générale, l'expression parabolique de la différence de marche trouvée par M. Callendar :

$$t - p_t = \delta\left(\frac{t^2}{100^2} - \frac{t}{100}\right),$$

avec cette restriction toutefois que la valeur de δ égale, suivant M. Callendar, à 1,50 pour les thermomètres de platine comparés, a été trouvée égale à 1,54 par MM. Harker et Chappuis.

Les comparaisons faites dans le voisinage du point d'ébullition du soufre ont conduit, pour cette température, à la valeur 445°,2 ; tandis que MM. Callendar et Griffiths avaient trouvé, en 1891, 444°,5, et que la valeur de Regnault obtenue en 1862 est 447°,5.

MM. Harker et Chappuis ont constaté que l'appareil dit tube de Meyer, décrit récemment par MM. Callendar et Griffiths donne pour l'ébullition du soufre une température d'une constance remarquable.

Quelques transformations des rayons X, par **Henri Dufour**.

L'auteur fait un court résumé de ses recherches sur la diffusion des rayons X dans l'intérieur des corps. Les rayons de Rontgen provoquent, dans toute la masse de certains corps, tels que le bois, la paraffine, les huiles, la formation de radiations semblables à celles étudiées par M. Sagnac. Ces radiations peuvent se propager dans la masse du corps ; elles sont rapidement affaiblies en changeant de milieu, mais impressionnent cependant une plaque photographique enveloppée de plusieurs doubles de papier.

M. Dufour a cherché si les corps soumis aux rayons X se comportent, après cette exposition, comme des corps phosphorescents, les résultats sont encore douteux ; ils se compliquent, en effet, des actions directes que les corps exercent sur la plaque, même au travers du papier. Ces actions directes sont très énergiques avec certains métaux : zinc, aluminium, fraîchement polis ; — il faut en tenir compte dans toutes les études sur les transformations des radiations faites par le moyen des impressions photographiques.

Sur le retard de décharge et certaines expériences de M. Warburg, par **R. Swingedauw**.

M. Jaumann a montré que, dans certains cas, si une différence de potentiel est établie entre les pôles d'un excitateur, il peut arriver que l'étincelle n'éclate pas aussitôt, mais seulement au bout d'un certain temps appelé retard de décharge variable avec le potentiel.

Suivant que la charge dure très peu ou très longtemps, le potentiel explosif est plus ou moins grand.

M. Swyngedauw explique ce retard par la couche d'oxyde qui ternit les surfaces polaires de l'excitateur sous l'action des étincelles ; si les surfaces polaires sont bien polies, le retard disparaît.

M. Warburg mesure les potentiels explosifs d'un excitateur qu'il charge soit pendant un temps très court (1/300 de seconde), soit pendant quatre ou cinq minutes.

Dans la charge *brève*, le potentiel explosif est notablement plus petit que dans la charge lente, si l'excitateur est éclairé par la lumière ultra-violette.

M. Swingedauw démontre, à l'aide d'un appareil fondé sur un principe analogue à celui de M. Warburg, que, dans la charge brève, l'étincelle éclate toujours au moment même où la charge se produit (et elle se produit par étincelle), c'est-à-dire pendant que le potentiel varie très rapidement, de sorte que les expériences de M. Warburg doivent s'expliquer par cette proposition. L'abaissement du potentiel explosif soumis à la lumière ultra-violette est une fonction croissante de la vitesse de variation du potentiel entre les pôles de l'excitateur, à l'instant où l'étincelle éclate [1].

---

[1] *Comptes rendus*, t. CXXII, p. 1052, 16 mai 1896.

SOCIÉTÉ DE PHYSIQUE DE LONDRES

Séance du 22 juin 1900.

Etude comparative de quelques thermomètres à résistance de platine, par **H.-M. Tory.**

L'objet de cette étude était de rechercher l'exactitude sur laquelle on peut compter dans la détermination des hautes températures au moyen de thermomètres à résistance de platine construits avec des fils de platine du commerce.

Cinq thermomètres de ce genre furent comparés entre 400° et 1 000° C.; on trouva que les coefficients fondamentaux des fils présentaient des différences de 40 p. 100 de la valeur maximum, mais que les températures calculées au moyen de ces coefficients et de la formule thermométrique différaient entre elles de moins de 9° vers 1 000°.

Chaque fil était directement comparé avec un fil étalon en platine pur; les deux fils étaient enroulés côte à côte dans le même tube. On portait en abscisses les températures indiquées par le thermomètre étalon et en ordonnées les différences entre les températures indiquées par ce thermomètre et le thermomètre comparé. On obtint ainsi des lignes très sensiblement droites dans les limites des observations. Il en résulte que la détermination de deux constantes est suffisante pour comparer les indications d'un thermomètre à fil de platine impur avec celles d'un thermomètre à fil de platine pur, et par conséquent ramener les premières à l'échelle du thermomètre à gaz. Ces deux constantes peuvent être déduites d'observations faites à la température d'ébullition du soufre et à celle de la solidification de l'argent. L'auteur estime que dans ces conditions l'évaluation des températures dans l'échelle du thermomètre à gaz, peut être faite avec une erreur de 2 ou 3° au plus dans l'intervalle compris entre 0 et 1 000° C.

Comparaison entre le thermomètre de platine et le thermomètre à azote, par **H.-L. Callendar.**

Dans la discussion qui suit la communication précédente, le professeur H.-L. Callendar présente quelques observations au sujet des expériences faites récemment par M. P. Chappuis [1]. Il croit que la divergence entre les résultats de ce physicien et les siens propres provient du fait que le coefficient de dilatation des gaz n'est pas connu avec suffisamment d'exactitude tant par suite des variations du volume du réservoir thermométrique que par suite d'une incertitude dans la valeur du coefficient de dilatation du mercure. Ce dernier coefficient serait en effet de 0,00018153 d'après Regnault, 0,00018216 d'après Broch et enfin 0,00018256 d'après les expériences faites par M. Chappuis avec un réservoir en verre dur. Suivant que l'on adopte la valeur donnée par Regnault ou la valeur trouvée par M. Chappuis, on trouve une différence qui n'est pas moindre de 4 p. 100 dans la valeur du coefficient fondamental de dilatation du verre. Quant à l'importance des changements de volume du réservoir, elle a été antérieurement pleinement mise en évidence, et une méthode permettant de tenir un compte approximatif de ces changements a été indiquée dans le mémoire de M. Callendar, sur le point d'ébullition du soufre, publié en 1890. Malheureusement le verre employé dans les mesures de ce point d'ébullition présentait des variations de volume beaucoup trop grandes pour permettre une détermination exacte de son coefficient de dilatation.

M. Callendar considère que la porcelaine ne convient pas aussi bien que le verre pour la confection des réservoirs thermométriques et il ne pense pas que le coefficient moyen de dilatation d'un tube ou d'un réservoir pour un large intervalle de température puisse être déduit de mesures faites sur un petit éhantillon même s'il a une forme symétrique au tube ou au réservoir. On aurait, croit-il, de meilleurs résultats en prenant des réservoirs métalliques bien homogènes et bien recuits.

La correction de l'influence de l'expansion du réservoir se calcule par l'expression : $dt = (c + b\theta)\, t\, (t - 100)$. M. Callendar n'est pas d'accord avec M. Chappuis lorsque celui-ci dit que la correction est indépendante de c bien qu'évidemment le terme $b\theta$ ait la plus grande importance aux hautes températures. Il n'est pas d'accord non plus avec lui au sujet de la correction du thermomètre à hydrogène, car, suivant Joule et Thomson la correction devrait être plus grande et suivant d'autres auteurs, plus petite que celle trouvée par M. Chappuis.

[1] Voir ci-dessus, p. 79.

Le Gérant : C. NAUD.

Tome XXIV. **Samedi 21 Juillet 1900.** **7e Année. — N° 29**

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

L'EXPOSITION UNIVERSELLE

TÉLÉGRAPHES MULTIPLES MUNIER [1]

M. Munier expose deux systèmes de télégraphe multiple dont nous allons donner successivement une description sommaire.

PREMIER SYSTÈME DE TÉLÉGRAPHE MULTIPLE MUNIER

Le premier système de télégraphe multiple de M. Munier fournit une preuve toute spéciale de l'importance du *mode de formation* et du *mode de transmission* des signaux [2]. Une description succincte en a été publiée dans les *Annales télégraphiques* en 1886 et 1887 sous la signature de M. Godfroy [3]; nous la reproduisons en y supprimant toutefois ce qui nous a paru inutile ou superflu pour la compréhension du système.

Dans le système de M. Munier, il est fait usage d'un distributeur comportant *théoriquement* [4] autant de secteurs que d'appareils Hughes compris dans l'installation. Chaque secteur renferme 28 contacts reliés électriquement aux 28 touches du clavier correspondant, et l'émission est préparée, comme au Hughes, par l'abaissement d'une touche, mais une seule émission peut avoir lieu par tour et par secteur ou clavier ; rien d'important n'est

---

(1) Exposés dans la Galerie La Bourdonnais reliant les premier étage du Palais de l'Electricité et du Palais de l'Alimentation.

(2) Voir *L'Éclairage Électrique*, t. XXIII, p. 323, 367, 456 et 487 ; 29, 23 et 30 juin 1900.

(3) Nous renvoyons en même temps le lecteur à la notice sur le télégraphe imprimeur multiple de J. Munier, G. Carré, éditeur, 1887.

(4) On verra plus loin que, dans la pratique, il n'en est pas ainsi, mais que les divisions du distributeur sont faites comme si le nombre des appareils était augmenté d'une unité.

**

changé aux organes mécaniques qui concourent à l'impression. L'axe du distributeur et les axes des roues des types des divers appareils tournent à la même vitesse, ce qui revient à utiliser un transmetteur tournant n fois plus vite que le récepteur, n étant le nombre des secteurs. Les roues des types partent du repos au moment où la ligne arrive sur le secteur correspondant. L'émission, préparée par l'abaissement d'une touche, est transmise automatiquement sur la ligne à un moment déterminé qui la caractérise et qui correspond lui-même au passage du balai frotteur, relié à la ligne, sur un point situé à $\frac{a}{28\,n}$ de la couronne du distributeur. A l'arrivée au récepteur, le courant, par l'intermédiaire d'un électro-aimant, provoque la chute d'un cliquet qui vient embrayer à un point situé également à $\frac{a}{28\,n}$ d'une roue à rochet partie de la position de repos en même temps que la roue des types. Le signal se trouve ainsi recueilli, puis *emmagasiné* dans cet organe dit compensateur jusqu'au moment où la roue des types a parcouru, non pas les $\frac{a}{28\,n}$ mais bien les $\frac{a}{28}$ de sa révolution. A ce moment seulement les organes d'impression sont mis en mouvement pour traduire le signal, c'est-à-dire quand le temps qui s'est écoulé entre l'arrivée de la ligne sur le secteur et le moment de l'émission se trouve multiplié par n, ou bien, si on préfère au bout d'une durée $t\,(n-1)$ après le moment de l'émission, t représentant le temps écoulé avant qu'elle ait été effectuée. Dans cet intervalle, la ligne se trouve mise successivement à la disposition des autres appareils.

Tel est le principe du Hughes multiple de M. Munier. Quelques développements le feront mieux comprendre.

Soit le cas d'une installation Hughes quadruple, dans laquelle chacun des appareils aurait la ligne à sa disposition pendant un quart de la révolution d'un frotteur sur un distributeur.

Il est évident que, pour obtenir, sans autre modification, le rendement de quatre appareils, il faudrait donner aux distributeurs la vitesse normale du Hughes, et rendre quatre fois plus grande celle des appareils ; cette solution n'est pas pratique, puisqu'il est admis que la vitesse de l'appareil Hughes doit être maintenue entre 120 et 140 tours.

Il importe donc de laisser aux appareils leur vitesse normale. On pourrait alors :

1° En ce qui concerne la transmission, effectuer les émissions non plus par l'intermédiaire des 28 goujons et du chariot, mais d'une manière analogue à celle qui est en usage dans la plupart des appareils multiples, c'est-à-dire en formant de 28 contacts chacun des secteurs du distributeur et en reliant électriquement ces 28 contacts aux 28 touches du clavier, que la pression du doigt amènerait contre un butoir de pile, un métronome ou frappeur de cadence indiquant le moment opportun pour cette opération ;

2° En ce qui concerne la réception, rassembler les 56 caractères ou blancs sur un quart de la périphérie de la roue des types et diviser en 28es le quart correspondant de la roue correctrice, ce qui équivaudrait à une division en 112es.

Cette disposition ne serait pas sans présenter de nombreux inconvénients au point de vue du fonctionnement des organes d'impression et la correction même ne serait plus efficace qu'à la condition de ne pas avoir à rectifier des écarts supérieurs à 1/224e de tour, correspondant soit à une avance ou à un retard de 1/448e de seconde, à la vitesse de 120 tours. En outre, étant donné le rapport entre les vitesses de l'arbre des cames et de l'axe de la roue des types, il ne serait plus possible de faire les *combinaisons* qui sont effectuées dans la manipulation du Hughes ordinaire. Cet inconvénient se trouverait, il est vrai, largement compensé par le plus grand nombre d'appareils desservant le même fil,

mais il en serait un autre des plus sérieux qui consisterait à mettre l'appareil hors d'état d'être utilisé en *simple,* à moins d'avoir des organes de rechange pour la correction et l'impression, et, par conséquent, de transformer trop radicalement le matériel existant.

Ces diverses considérations et principalement la dernière, ont conduit M. Munier à adopter en principe les dispositions ci-dessus pour la transmission, mais à rejeter toute modification essentielle des organes ordinaires de réception.

Il s'est alors trouvé, comme le disait M. Samuel dans une communication faite dernièment à la Société internationale des électriciens, en présence du problème suivant :

Etant donnée une roue des types réceptrice tournant à une vitesse V, *transmettre avec un manipulateur animé d'une vitesse* nV, n *étant le nombre des appareils placés en multiple ;* autrement dit, dans le cas supposé d'une installation quadruple, recevoir dans un appareil tournant à 128 tours les émissions effectuées au départ dans des conditions telles que si le transmetteur tournait à 120×4 ou 480 tours.

La solution n'était possible qu'à la condition de ne plus laisser de lien immédiat entre la réception du courant et l'impression du caractère et de rendre ces deux opérations pour ainsi dire indépendantes. M. Munier eut alors recours à un organe spécial, qui est la partie essentielle de son invention et dont le rôle rappelle celui du *combinateur* de M. Baudot. De même que le combinateur a pour fonctions, dans l'appareil Baudot, d'effectuer après coup la traduction d'un signal *recueilli et conservé* par les électro-aiguilleurs et leurs leviers chercheurs, de même, le *compensateur* a pour fonctions, dans l'appareil Munier, de faire traduire en temps opportun, par les organes d'impression, *la position prise et conservée* sur une roue à rochet spéciale, par un cliquet dont la chute a été déterminée par le déclenchement de l'électro-aimant et a, par suite, marqué et, pour ainsi dire, enregistré le *moment* de l'arrivée du courant ou de l'émission.

On sait que, dans le Hughes, chaque caractère est dû à une émission unique et de même valeur dans tous les cas, mais que les émissions sont espacées par des intervalles qui, quoique variables, correspondent toujours à un nombre exact de 28[mes] de tour du chariot et de la roue des types, de telle sorte que c'est le *moment* seul de l'émission et même de son début qui caractérise le signal transmis.

Dans le système Munier, les émissions commencent, comme dans le Hughes, à 28 *moments* ou points différents, mais ceux-ci, au lieu d'être séparés par 1/28[e] de la circonférence décrite par le chariot ou frotteur ne le sont plus que par $\frac{1}{28\,n}$, *n* étant le nombre des secteurs. Avec un distributeur quadruple et pour un même clavier, le commencement d'une émission, ou l'envoi d'une lettre, est donc déterminé par l'un des $\frac{28}{112}$ dont se compose le secteur correspondant.

La figure théorique n° 1 permet de se faire une idée des diverses conditions de fonctionnement.

Si on suppose que, dans le distributeur, c'est le frotteur ou index qui est fixe et le disque mobile, et si on considère, comme montés sur le même axe, les roues des types et le distributeur (qui ont la même vitesse angulaire)[1], chaque roue étant calée de manière à présenter le commencement de la première division (blanc) sur le même rayon que le commencement du secteur correspondant, on voit que le distributeur avance de 4/28[e] de secteur ou de quatre lettres pendant que la roue des types ne progresse que d'un 1/28[e] de tour ou d'une lettre.

---

[1] Une seule roue est représentée dans la figure.

Ainsi tous les organes partant simultanément de la position de repos, on veut, par exemple, transmettre la lettre D : l'émission doit commencer sur le cinquième contact du secteur, mais à ce moment la roue des types n'a encore progressé que de l'intervalle réservé au blanc et il lui reste à parcourir encore trois autres intervalles ou 28es pour amener la lettre D sur la verticale passant par le centre de la roue. Il est donc de toute nécessité que l'impression soit retardée d'un temps trois fois égal à celui qui s'est écoulé entre le départ de la position de repos et l'émission du courant. A cet effet, on peut admettre un instant que le cylindre d'impression (1), au lieu d'être maintenu sur la verticale, se trouve porté, par un disque ou autre mobile qui normalement quitterait sa position de repos en même temps que les autres organes et se déplacerait avec la même vitesse angulaire dans le sens de la grande flèche f; seulement, le sens de ce mouvement pourrait être brusquement renversé au moment de l'action du courant, afin de ramener le cylindre en arrière avec une vitesse angulaire trois fois moindre (petite flèche f_1).

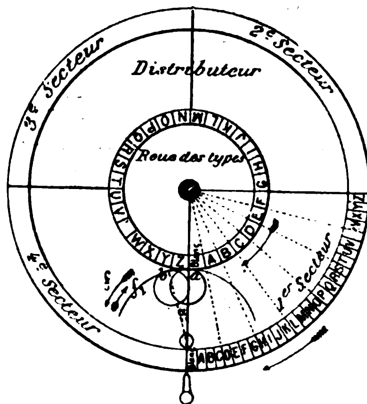


Fig. 1. — Transmetteur Munier.

Alors, dans le cas ci-dessus de la transmission de la lettre D, le cylindre d'impression s'est déplacé d'un angle α, de a en b, pendant que la roue des types a progressé d'un angle égal, au moment où a lieu l'émission sur le cinquième contact du distributeur; celle-ci a pour résultat immédiat de renverser le mouvement du cylindre qui revient alors de b en a, en trois fois plus de temps, c'est-à-dire qu'il met à opérer ce mouvement rétrograde exactement le même temps que la roue des types pour avancer de trois autres 28es. Le cylindre se retrouve donc sur la verticale au même moment que la lettre D, et l'impression de la lettre visée au départ peut avoir lieu pendant que le frotteur passe sur les contacts correspondant aux lettres E, F, G, H.

On voit aussi que, pour la transmission d'une lettre comprise entre G et M inclus, l'impression aurait lieu quand la ligne (représentée par le frotteur) parcourrait déjà le deuxième secteur; que celle des lettres N à T se ferait pendant le temps réservé aux transmissions du troisième appareil et celle des lettres V à Z pendant que la ligne serait utilisée par le quatrième. De cette façon, les quatre roues peuvent imprimer *simultanément* chacune une lettre, par exemple, V, O, H, A, etc., etc, quoique chacune de ces lettres ait été transmise à 1/4 de tour d'intervalle ; mais une conséquence de cette disposition est de ne pouvoir faire qu'une émission par tour et par secteur ou clavier.

Il existe donc toujours un rapport constant qui, multipliant le temps écoulé entre le départ simultané des organes et le moment de l'émission, détermine le moment de l'impression ; ce rapport est égal au nombre de secteurs du distributeur et l'on a ainsi, dans un quadruple, une sorte de transformation de 112es d'un temps déterminé en 28es du même temps, et dans un quintuple de 140es en 28es, etc. En pratique, cette transformation ne s'effectue pas directement avec le cylindre d'impression, comme on l'a supposé, mais au moyen de l'organe spécial, dit *compensateur*, organe qui constitue la partie essentielle de l'invention et dont il semble bon de donner une description sommaire avant d'étudier plus en détail les dispositions d'ensemble de tout le système.

Compensateur. — Dans l'appareil qui a servi aux dernières expériences, le mécanisme

(1) Il serait plus xact d'envisager la roue correctrice, mais il ne s'agit que d'une démonstration générale.

compensateur était supporté par un plateau s'adaptant au-dessus de l'appareil Hughes. Ce mécanisme est représenté en coupe par la figure 2, et on en trouve une perspective, plus ou moins exacte, dans le dessin (fig. 3), dont les diverses parties n'occupent pas les positions et n'ont pas les proportions qui leur sont données en réalité, mais ont été soit écartées, soit agrandies, de manière à rendre visibles tous les organes importants(¹).

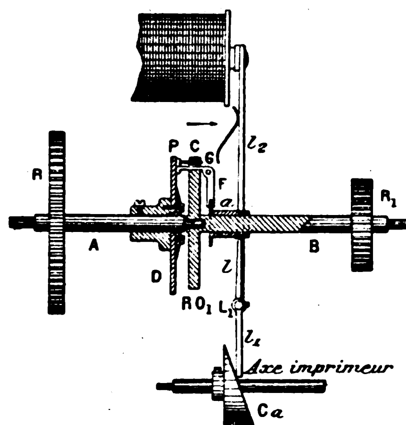


Fig. 2. — Compensateur.

A et B sont deux axes situés sur le même prolongement, comme l'axe du volant et l'axe imprimeur de l'appareil Hughes. L'axe A porte une roue R de même diamètre que la roue R_2 (fig. 3 et 4 [¹]) de l'axe de la roue des types avec laquelle il engrène ; il tourne donc en sens inverse des aiguilles d'une montre et *avec la même vitesse que l'axe de la roue des types*. L'axe B porte une roue ou pignon R_1, engrenant avec une roue R_3 ajoutée à cet effet sur l'axe A_2 du troisième mobile, et il est entraîné dans le sens des aiguilles d'une montre ; les deux axes A et B tournent donc en sens contraires, quoiqu'étant situés sur le même

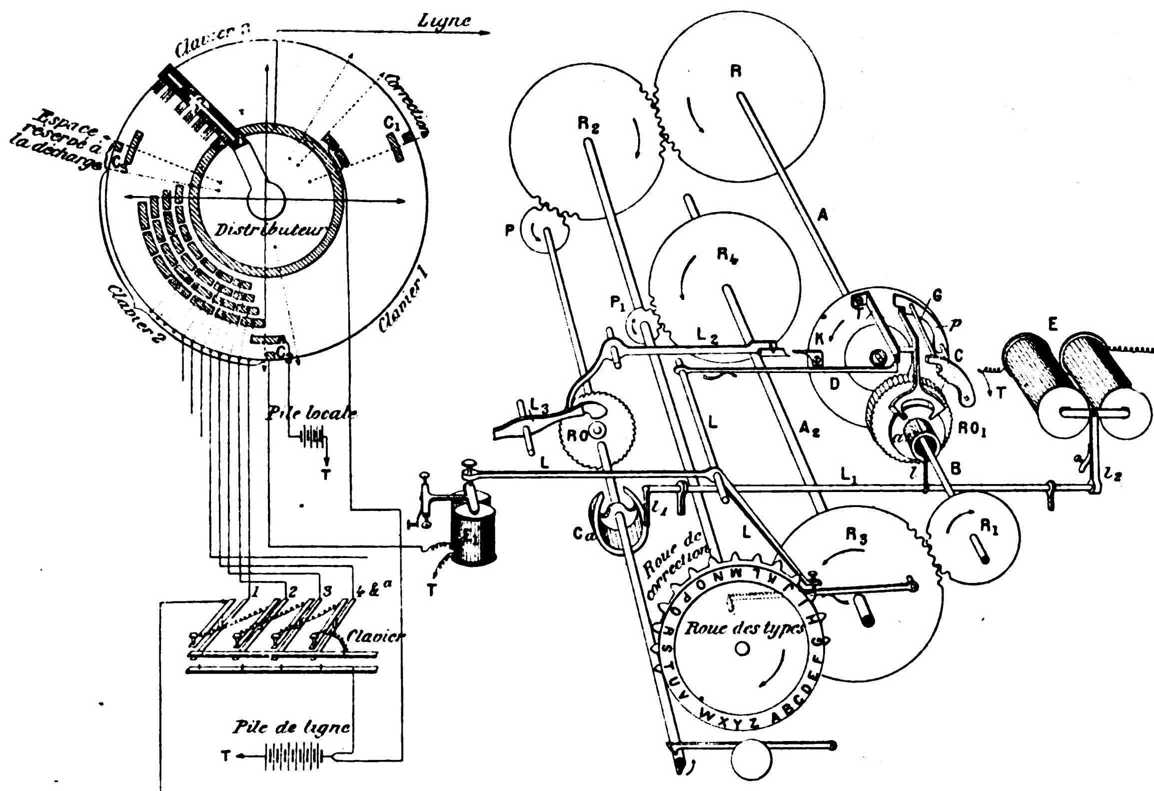


Fig. 3. — Ensemble du système Munier.

prolongement. Quant au rapport entre les roues R_1 et R_3, il doit être établi de manière à

(¹) Ces dessins ont été relevés sur l'appareil d'expérience par M. J. Schils, commis au Poste central.

donner à l'axe B *une vitesse trois fois plus petite que celle de l'axe* A. (D'une façon plus générale, la vitesse de l'axe B doit être $n - 1$ fois moindre que celle de l'axe A, n étant le nombre par lequel il faut diviser 1/28e de circonférence pour avoir la valeur de l'écart entre les deux points du distributeur qui marquent le commencement de deux contacts consécutifs. Cet écart dans l'appareil d'expérience étant de 1/112e ou de $\frac{1}{28 \times 4}$ de circonférence, le rapport des axes A et B doit donc être de $4 - 1 = 3$.)

L'extrémité antérieure de l'axe A est munie d'un disque D dont le montage est identique à celui de la roue de frottement ou rochet de correction de l'appareil Hughes. Il s'ensuit que ce disque peut se trouver dans trois situations différentes :

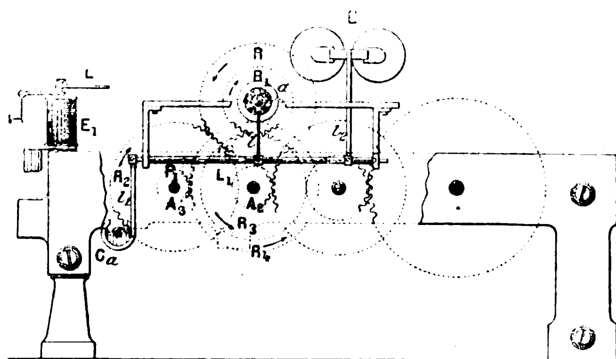


Fig. 4. — Récepteur Munier.

1° Rester au repos si un obstacle quelconque s'oppose à sa rotation ;

2° Être entraîné dans le mouvement de l'axe A si aucun obstacle ne s'oppose à son déplacement ;

3° Être entraîné en sens contraire de l'axe A, s'il est soumis à un effort suffisant dans ce sens.

Il est, en temps normal, maintenu à la position de repos au moyen d'un doigt ou traverse T, qui vient buter contre l'extrémité en forme de dent d'un levier L, dont on verra le rôle plus loin ; il est, en outre, muni d'une potence P, dont la goupille G supporte un cliquet C, soumis à l'action de ressorts non représentés dans la figure. Ce cliquet se trouve, par rapport aux axes, dans le même plan perpendiculaire qu'une roue de rochet RO_1 fixée à l'extrémité postérieure de l'axe B et tournant par suite dans le même sens que ce dernier.

L'extrémité de la potence P, grâce à l'action des ressorts, appuie sur la partie à peu près parallèle aux axes d'un levier coudé F, articulé sur une pièce dépendant de la traverse T. L'autre bras du levier affecte une forme particulière, indiquée dans la planche I ; c'est une sorte de double fourchette entre les dents de laquelle s'engage la joue d'un manchon a, qui est très libre sur l'axe B et auquel l'inventeur donne le nom de couronne. (La forme et les fonctions de ce manchon se rapprochent beaucoup de celles de l'organe similaire actuellement placé sur l'axe du chariot.) Ce manchon est lui-même solidaire d'un bras de levier l porté par le grand arbre transversal L_1 dont l'extrémité de droite porte le bras de levier l_2, qui est censé porter l'armature d'un électro-aimant E et dont l'extrémité de gauche est munie d'un autre bras l_1, placé à portée d'une came excentrique Ca, montée sur l'axe imprimeur.

L'ensemble des bras de levier l, l_1, l_2 et de leur arbre commun L_1 pourrait être appelé levier de l'armature.

Lorsque celle-ci est en contact, le bras l, qui suit les mouvements de l_2, maintient la joue du manchon a, à peu de distance du rochet RO_1, de telle sorte que le levier F soulève la potence P et éloigne le cliquet du rochet; lorsque l'armature est, au contraire, écartée des pôles, le manchon a est amené en avant et fait basculer le levier F d'une quantité suffisante pour que, cédant à l'action de leurs ressorts, la potence et le cliquet s'abaissent et rendent ainsi le disque D solidaire de l'axe B ; lorsque l'armature est ramenée au contact,

soit à la main, soit par l'action de la came *Ca*, le manchon *a* est de nouveau reculé vers le rochet et le désembrayage a lieu.

En résumé, le cliquet suit exactement les mouvements de l'armature, c'est-à-dire que sa chute peut avoir lieu au point voulu et la série d'actions mécaniques qui en résultent se produisent comme il vient d'être dit.

Distributeur Munier. — En 1887, M. Godfroy appréciait de la manière suivante le distributeur de M. Munier :

Avec le modèle de distributeur que M. Munier construit en ce moment, la durée des émissions pourra être modifiée à volonté, dans les limites que permettront les circonstances; mais dans celui qui nous occupe, elle était de 4/112es de tour. La figure générale 3 montre comment, pour arriver à ce résultat, les vingt-huit contacts du secteur sont répartis en quatre couronnes concentriques, au lieu de se succéder sur une seule et même couronne :

Chaque contact occupe un angle de 4/112es ; mais l'écart angulaire entre les points symétriques des contacts de deux couronnes voisines restant égal à 1/112e, il s'ensuit que la durée de l'émission ne change rien à son moment et qu'à ce dernier point de vue, on obtient les mêmes résultats que si les vingt-huit contacts ne mesuraient que 1/112e et se suivaient sur une même couronne [1].

Ce qui se dégage des appréciations de MM. Godfroy et Samuel, c'est que le système Munier évite l'induction si nuisible et si redoutée que produisent fatalement les appareils rapides faisant usage de nombreuses émissions dont ils ne peuvent assurer la transmission qu'avec des courants alternés.

Nouveau système de Télégraphe multiple Munier

Mais M. Munier ayant acquis la certitude à la suite des premiers essais de son mécanisme compensateur que la division du temps dont il se sert lui donne une marge de réception trop faible, chercha à modifier cette division du temps sans cependant abandonner son mécanisme compensateur qui fonctionne avec une précision remarquable.

C'est alors qu'il conçut les dispositifs que nous allons décrire et créa finalement un appareil basé sur la *division des lettres de l'alphabet en séries* avec lequel deux émissions de courant au maximum au lieu de cinq lui suffisent pour former un signal.

M. Munier parvint à réduire le nombre des divisions du distributeur en faisant opérer au mécanisme compensateur une opération contraire à celle pour laquelle il avait été imaginé, c'est-à-dire en lui faisant transformer en vingt-huitièmes non des multiples de 28 mais des sous-multiples, afin de n'avoir par secteur que 14, 7, ou même 4 divisions.

Avec le sous-multiple 14 il fallait un mécanisme compensateur composé de deux cliquets compensateurs.

Chacun de ces cliquets était, à son état de repos, orienté sur 1/4 (soit 1/2 de la roue des types puisque celle-ci a 28 divisions), c'est-à-dire que chaque cliquet servait à l'impression de 14 lettres.

Dans ce cas, le nombre des divisions d'un secteur du distributeur était réduit à 16 dont

---

[1] A l'époque où les Annales télégraphiques publiaient ce qui précède, M. Munier avait déjà conçu le système de *clés*, base de son appareil; mais ne s'étant pas encore garanti par un brevet, il en faisait construire secrètement les premières pièces d'essais.

En 1886, dans une conférence faite à la Société Internationale des Electriciens, M. Samuel avait établi la différence essentielle existant entre le distributeur Munier et le distributeur Baudot. Nous ne pouvons qu'y renvoyer le lecteur.

14 reliées chacune à deux touches du clavier conjuguées de la façon suivante : la 1re touche avec la 15e, la 2e avec la 16e, la 3e avec la 17e, et ainsi de suite.

Au poste d'arrivée, ces divisions étaient reliées à l'électro-récepteur commandant la chute du cliquet sur le rochet de l'arbre multiplicateur.

Les deux autres divisions étaient, au poste de départ, reliées chacune à une touche spéciale et, au poste d'arrivée, chacune à un électro-aimant commandant : l'un, la mise en marche du cliquet n° 1 afférent à la 1re série, l'autre, celle du cliquet n° 2 afférent à la 2e série.

Ici apparaît l'idée nouvelle qui fut pour M. Munier un trait de lumière et qui va lui servir de base à un appareil nouveau : C'est la *division des lettres de l'alphabet en séries* avec **deux émissions brèves** au maximum pour former une combinaison dont une servira à *indiquer la série* et l'autre à *choisir la lettre dans la série.*

A ce moment M. Munier ne pense pas encore à abandonner son mécanisme compensateur; il cherche au contraire à le façonner à un nouveau fonctionnement basé sur deux émissions au lieu d'une, c'est-à-dire sur le jeu de plusieurs cliquets compensateurs. Il cherche le sous-multiple qui lui donnera la meilleure solution, principalement au point de vue du nombre des divisions d'un secteur du distributeur.

C'est ainsi que les sous-multiples 14 et 2 sont d'abord éliminés parce qu'ils exigent l'un et l'autre 16 divisions par secteur du distributeur.

Restaient les sous-multiples 7 et 4.

Dans l'un et l'autre de ces deux derniers cas, le nombre des divisions d'un secteur était réduit à 11.

Avec le sous-multiple 7, il fallait un mécanisme compensateur composé de 7 cliquets, chacun d'eux étant orienté sur 1/7 de la roue des types pour servir à l'impression de 4 lettres.

Avec le sous-multiple 4, le mécanisme compensateur ne comportait que 4 cliquets orientés chacun sur 1/4 de la roue des types pour servir à l'impression de 7 lettres.

Dans ces conditions, le sous-multiple 4 était évidemment le plus avantageux puisqu'il n'exigeait que 4 cliquets compensateurs au lieu de 7.

Néanmoins les difficultés et complications mécaniques pour l'organisation et le fonctionnement de plusieurs cliquets firent comprendre à M. Munier que le moment était venu d'abandonner son mécanisme compensateur pour porter ses recherches sur un dispositif nouveau capable de réaliser pratiquement le nouveau principe consistant dans le groupement des lettres de l'alphabet en séries.

Après des recherches qui le tinrent en échec pendant environ deux années, le nombre des divisions par secteur du distributeur fut définitivement réduit à cinq dont deux pour *les séries* (ex-cliquets compensateurs) et trois pour *les lettres dans les séries ;* le nombre des émissions de courant par caractère à imprimer était de *deux* dont une pour désigner la série et l'autre la lettre dans la série, sauf cependant pour la 1re série dont les lettres s'obtenaient avec une seule émission.

Ce résultat avait été obtenu en utilisant d'une part les deux sens du courant et en disposant d'autre part un jeu d'électro-aimants récepteurs destinés à ouvrir et fermer des circuits dans un organe nouveau appelé *collecteur*, comportant autant de divisions qu'une roue des types. Le nombre de divisions par secteur du distributeur fut définitivement réduit à cinq et le nombre des émissions de courant par caractère à imprimer, c'est-à-dire par signal, fut limité à deux dont une pour désigner la série et l'autre pour désigner la lettre dans la série, à l'exception des lettres ou signaux de la première série pour chacun desquels une seule émission était suffisante.

Conjugaison des touches et des électro-aimants récepteurs. — Au poste transmetteur les 10 touches sont reliées électriquement deux à deux et forment ainsi cinq groupes qui se relient aux cinq plots du distributeur dans l'ordre suivant : les deux groupes des séries aux plots 1 et 2 ; les trois groupes des lettres aux plots 3, 4 et 5.

Les touches sont placées en face de butoirs reliés alternativement les uns à une pile positive, les autres à une pile négative, de manière que si la touche n° 1 envoie un négatif, la touche n° 2 enverra un positif et ainsi de suite.

Avec les 10 touches ainsi disposées on peut faire les 242 combinaisons de la table générale des signaux de la numération ternaire sur cinq rangs que nous avons donnée plus haut.

Au poste récepteur les deux plots des séries sont reliés à 4 électro-aimants polarisés 1, 2, 3, 4, genre Hughes, groupés deux à deux avec interversion du sens d'entrée du courant dans chacun des électros composant un groupe de manière que l'armature de chacun d'eux fonctionne sous l'influence de courants de signes contraires.

Ces électro-aimants ont reçu le nom de *clés* en raison des fonctions de leurs armatures qui sont d'ouvrir et de fermer les circuits préparés pour les séries dans un nouvel organe appelé *collecteur* que nous décrirons tout à l'heure.

Les trois plots des lettres sont reliés à 6 électro-aimants 5, 6, 7, 8, 9, 10 du même genre que les premiers et de la même manière, c'est-à-dire avec interversion du sens d'entrée du courant dans chacun des électros composant un groupe.

Ces électros ont reçu le nom de *lettres* car ce sont leurs armatures qui servent à relier une pile locale dite d'impression à des circuits préparés sur le collecteur en vue de l'impression des caractères.

Les 4 touches clés 1, 2, 3, 4 correspondent respectivement aux électros clés 1, 2, 3, 4 et les 6 touches lettres 5, 6, 7, 8, 9, 10 aux électros lettres 5, 6, 7, 8, 9, 10.

Les touches 1, 3, 5, 7, 9 envoient des émissions de signe voulu pour produire le soulèvement des armatures des électros 1, 3, 5, 7, 9 et il en est de même des touches 2, 4, 6, 8, 10. Il s'ensuit que si on manœuvre par exemple les touches 1 et 8 pour former une combinaison en vue de l'impression d'un caractère, ce sont les armatures 1 et 8 qui se soulèveront à cet effet.

Avec les 4 *électro-aimants clés* et les 6 *électro-aimants lettres* on peut reproduire les 242 combinaisons ou signaux faits par les touches et donner lieu à l'impression d'un nombre égal de caractères quelconques disposés sur une roue des types.

Mais les combinaisons avec lesquelles M. Munier forma sa première table de manipulation se trouvèrent normalement au nombre de trentre (code III, 1886, voir *Écl. Élect.*, t. XXIII, p. 463) et se déduisaient logiquement du raisonnement que nous avons exposé sur le mécanisme compensateur et son remplacement par de nouveaux organes dûs à la *division des lettres de l'alphabet en séries*.

Nous avons vu que cette méthode a été inspirée par le mécanisme compensateur lui-même.

Il y a donc lieu de remarquer que M. Munier, contrairement à ses prédécesseurs, ne s'appuya pas sur un des alphabets de signes des systèmes de numération binaire ou ternaire pour réaliser son appareil mais que son alphabet de signes se forma logiquement en raison des groupements auxquels il était arrivé pour réduire à cinq les divisions ou plots d'un secteur du distributeur.

A l'examen de cet alphabet on voit que les six lettres de la première série s'obtiennent sans émission de clés, c'est-à-dire chacune avec une seule émission.

***

Les lettres des 4 autres séries s'obtiennent avec des combinaisons de deux émissions dont une de *clés* et l'autre de *lettres*.

On remarquera que les 6 signes de la première série se répètent d'une manière régulière dans chaque série et que les 4 signes des clés servent effectivement à répéter 4 fois la première série, autrement dit à la multiplier par 4.

Les électros que M. Munier appela *clés* en raison des fonctions de leurs armatures auraient donc pu être désignés sous le nom de *multiplicateurs* en raison de leur rôle au point de vue des séries.

Constitution des électros clés et des électros lettres. — Les électro-aimants utilisés par M. Munier sont, nous l'avons dit, du genre Hughes, c'est-à-dire que leurs noyaux sont dans le prolongement des deux branches d'un aimant permanent en forme d'U (fig. 5).

Chaque bobine a une résistance de 100 ohms, ce qui donne une résistance totale de 400 ohms par groupe d'électros, ces électros étant reliés entre eux par *embrochage* et non en *dérivation*.

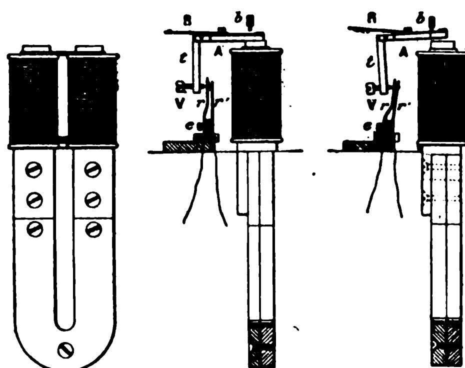
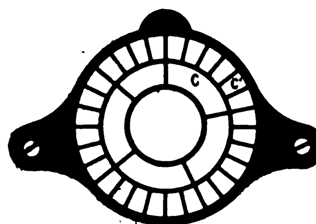


Fig. 5, 6 et 7. — Electroaimants.



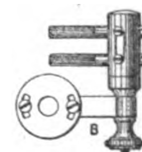


Fig. 8 et 9. — Collecteur et balais.

L'armature de chacun d'eux est soumise à l'action d'un ressort antagoniste R (fig. 6 et 7), de manière qu'une fois soulevée elle ne puisse non seulement pas revenir d'elle-même au contact des pôles, mais le ressort est d'une énergie suffisante pour établir d'une part un bon contact entre l'armature et la vis buttoir *b*, contre laquelle elle vient s'appuyer et pour assurer d'autre part le fonctionnement des groupes de ressorts spéciaux *rr'* qui, par leur conjonction ou leur disjonction, établissent le jeu des circuits préparés sur le collecteur en vue de l'impression de telle ou telle lettre suivant l'armature ou les armatures soulevées.

Chaque groupe de ressorts de conjonction et de disjonction est commandé par une vis *v* portée par un bras *t* solidaire de l'armature, cette vis est isolée du ressort contre lequel elle s'appuie par un petit bloc d'ivoire ou d'ébonite qui la termine afin d'assurer l'isolement nécessaire entre l'armature et les groupes de ressorts de conjonction ou de disjonction.

Collecteur. — Le collecteur (fig. 8) est un nouvel organe qui, avec les électros clés et lettres remplace le mécanisme compensateur.

Il remplit le rôle de la boîte des goujons dans l'appareil Hughes au point de vue de la division du temps et de l'envoi du courant dans l'électro imprimeur; il équivaut au traducteur dans l'appareil Baudot.

Il est constitué par deux couronnes concentriques C C' dont l'une extérieure comporte 28 divisions correspondant aux 28 divisions de la roue des types Hughes.

La deuxième couronne est partagée en cinq parties représentées par des plots allongés correspondant aux cinq séries de la table de manipulation.

Chacun de ces plots représente donc une série et fait face à 6 des divisions de la première couronne à l'exception du dernier qui ne fait face qu'à 4 divisions.

Les deux couronnes sont parcourues par deux balais métalliques (fig. 9,) reliés ensemble. Ces deux balais servent à réunir successivement les séries aux divisions en vue de l'impression du caractère reçu sous forme de signal par les armatures des électros récepteurs.

A cet effet ils sont fixés sur un porte-balais B solidaire de la roue des types de manière à en épouser tous les mouvements et à passer simultanément sur la division et la série voulue au moment où la roue des types présente le caractère à imprimer dans la position d'impression.

MUNIER.

PROCÉDÉ ÉLECTROLYTIQUE DE DÉCAPAGE DES MÉTAUX (1)

Le décapage du fer, du cuivre et des alliages de cuivre par les acides, ainsi qu'on le pratique généralement, offre divers inconvénients parmi lesquels nous signalerons : l'affaiblissement graduel de l'acide au fur et à mesure que le décapage se produit, la lenteur de l'opération et l'utilisation incomplète de l'acide qui en sont les conséquences, la production de liqueurs résiduelles impossibles à évacuer dans les cours d'eau à cause de leur acidité et dont on ne peut retirer le sel métallique qu'elles renferment que par une évaporation fort coûteuse, enfin les inconvénients de toute sorte résultant pour le matériel et notamment pour les ouvriers de l'emploi de bains acides à action corrosive.

Ces mêmes inconvénients, ou d'autres analogues, se rencontrent d'ailleurs dans le décapage au moyen des solutions alcalines, solutions employées pour l'aluminium et le zinc.

De nombreux procédés ont été préconisés dans le but de remédier en tout ou partie à ces inconvénients. L'un d'eux, aujourd'hui très employé pour le décapage des tubes de fer destinés à la construction des chaudières tubulaires, et dû à M. Sherard Cowper Coles (2), consiste à mettre alternativement en communication avec le pôle positif et le pôle négatif d'une source d'électricité les pièces de fer brut plongées dans de l'acide sulfurique étendu; quand la pièce sert d'anode, son attaque par l'acide se trouve activée; quand elle est cathode, l'hydrogène qui se forme sur elle détache les écailles d'oxyde qui sont à sa surface ; il en résulte, d'une part, une diminution considérable de la durée du décapage, et, d'autre part, une diminution importante dans la consommation d'acide, les écailles d'oxyde qui tombent au fond du bain de décapage pouvant être facilement enlevées avant qu'elles ne soient complètement dissoutes. Mais ce procédé n'est pas exempt de la plupart des inconvénients signalés plus haut et ne paraît applicable qu'au cas particulier du décapage du fer. Quant aux autres procédés électrolytiques de décapage qui ont été proposés, ils n'ont donné lieu qu'à des essais et leur abandon indique qu'ils ne possèdent pas les qualités requises pour une application industrielle.

Le procédé breveté (3) par la Vereinigte Elektricitäts Actiengesellschaft paraît au contraire particulièrement recommandable à ce point de vue. Non seulement il n'a pas les inconvénients mentionnés précédemment, mais il a en outre l'avantage de s'appliquer à tous les métaux,

---

(1) Procédé de la Vereinigte Elektricitäts Actien Gesellschaft, de Vienne. Champ-de-Mars, Rez-de-Chaussée du Palais de l'Electricité, côté Suffren, section autrichienne.

(2) *Écl. Élect.*, t. XIV, p. 317, 12 février 1898.

(3) Brevet français n° 292 333, 6 septembre 1899.

de régénérer constamment le bain de décapage et de permettre de récupérer avec facilité le métal dissous pendant l'opération, ce qui est à considérer lorsqu'il s'agit de métaux d'une assez grande valeur comme le cuivre et ses alliages.

En voici le principe : L'objet à décaper est plongé dans une dissolution d'un sel alcalin dans laquelle plonge également une plaque métallique ou de charbon inattaquable par la dissolution et les produits de son électrolyse. On fait passer un courant dans le bain en prenant l'objet à décaper comme anode s'il est en fer, en cuivre ou ses alliages, et comme cathode s'il est en zinc ou en aluminium. Dans le premier cas l'anion de l'électrolyte forme avec le métal de la surface de l'objet un sel métallique qui par diffusion se répand dans le bain et rencontre la potasse ou la soude formée à la cathode ; une réaction a lieu et le sel alcalin constituant le bain électrolytique se reproduit tandis que l'oxyde du métal du sel métallique se précipite. Dans le second cas c'est le cathion qui se combine au métal de l'objet à décaper pour donner un zincate ou un aluminate soluble qui se répand dans le bain et rencontre l'acide formé à l'anode ; de la réaction de ces substances résultent encore la régénération du bain de décapage et la précipitation du zinc ou de l'aluminium à l'état d'oxyde.

Il n'y a donc pas, théoriquement du moins, usure du bain de décapage ; ceci donne la possibilité d'employer dans certains cas particuliers des solutions de sels alcalins assez chers comme les azotates ou divers sels organiques.

Faisons aussi remarquer que le procédé permet de réaliser dans le même bain le dégraissage de l'objet à décaper, dégraissage qui constitue ordinairement une opération spéciale. En effet, dans le cas des métaux qui, comme l'aluminium et le zinc, sont connectés au pôle négatif de la source d'électricité pour le décapage, la potasse ou la soude formée à leur surface produit en même temps le dégraissage et lorsqu'on a affaire à des métaux qui doivent être connectés au pôle positif pour être décapés, il suffit de faire passer le courant de façon à ce qu'ils servent de cathodes au début de l'opération pour qu'il se forme à leur surface une solution alcaline produisant le dégraissage.

De nombreux essais ont été faits avec ce procédé pour le dégraissage et le décapage des tôles destinées à être étamées ou galvanisées. Le bain employé dans ce cas est une dissolution de sulfate de sodium. Les tôles à décaper sont disposées verticalement dans le bain et suspendues à un cadre horizontal qui, soulevé au moyen d'un treuil, permet de les retirer rapidement du bain. Entre ces tôles sont placées des plaques de fer plus épaisses servant de secondes électrodes. La différence de potentiel nécessaire varie de 4 à 8 volts pour une intensité de courant allant jusqu'à 140 ampères par mètre carré de tôle à décaper. Ces essais ont montré que le procédé est très rapide et peu coûteux.

J. Reyval.

COMPTEURS POUR COURANTS ALTERNATIFS

Le brevet de G. Hookham [1] est relatif à des perfectionnements aux compteurs pour courants alternatifs et à d'autres relatifs aux compteurs pour courants continus.

Dans les compteurs où un moteur à champ tournant a un couple proportionnel à la puis-

[1] Brevet anglais n° 10818, déposé le 11 mai 1898, accepté le 22 avril 1899, 8 figures.

sance électrique mesurée, il est difficile de régler les choses de telle sorte que le frottement au départ soit exactement contrebalancé ; il en résulte que ces compteurs donnent des indications erronées, à faible charge, soit qu'ils tournent trop vite, ou même qu'ils tournent sous l'influence seule de la bobine des volts, par suite d'une dissymétrie difficile à éviter, soit qu'ils tournent trop lentement. Le but à atteindre est de corriger cette erreur sans en introduire une autre à pleine charge.

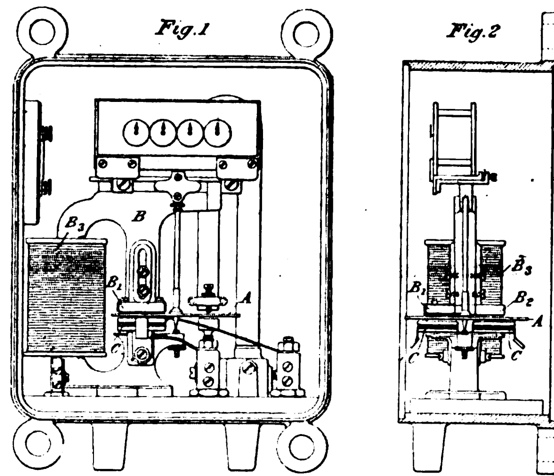


Fig. 1 et 2. — Elévation et vue de côté des compteurs Hookham.

Le compteur représenté par les figures 1 et 2 est de la forme bien connue de Chamberlain et Hookham ; la modification apportée consiste à munir la pièce polaire B, de l'électro des volts B_3, de deux pièces de fer B_1B_2 qui peuvent être approchées ou éloignées du disque moteur A. Quand on veut diminuer la vitesse, à pleine charge, il faut abaisser B_2 si le mouvement du disque va de B_1 à B_2 ; on obtient le même résultat en élevant B_1 ; enfin en agissant sur les deux pièces à la fois on augmente l'effet. Si le mouvement du disque est renversé, la vitesse augmente au contraire par suite de cette modification. Comme les augmentations et diminutions de vitesse à pleine charge sont relatives, il est facile de s'en servir pour obtenir la proportionnalité entre les indications du compteur et la puissance mesurée. Tout ce qui amène la distortion du champ magnétique de l'électro B produit le même effet : par exemple faire tourner l'électro B autour de la bobine B_3.

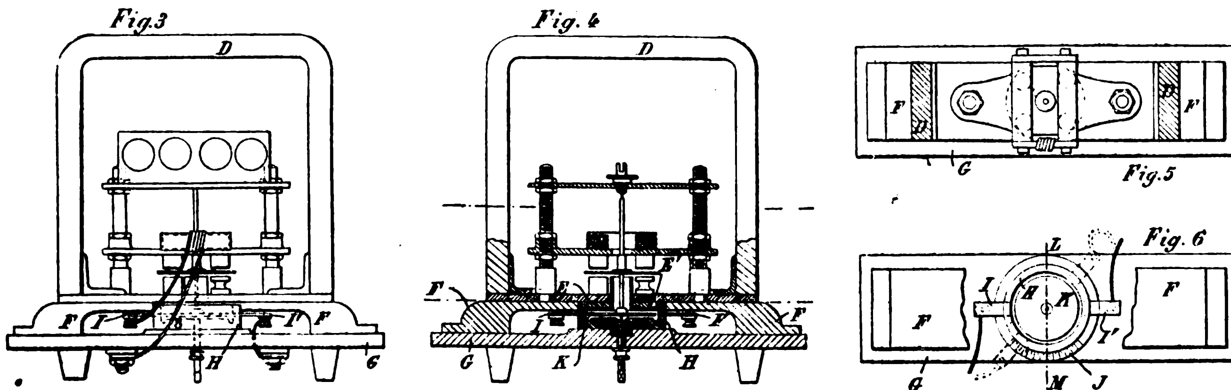


Fig. 3, 4, 5 et 6. — Elévation et coupe verticale, plan et coupe horizontale du compteur à mercure Hookham.

Dans le compteur pour courant continu, fig. 3 à 6, le courant traverse le disque moteur K, suivant un diamètre au lieu de passer du centre à la circonférence, comme dans le compteur Ferranti ; de même que dans ce dernier, la boîte H qui renferme le disque est remplie de mercure. L'aimant permanent D et les pièces polaires EE' créent un champ dont les lignes de force coupent deux fois le disque, de sorte que l'action est doublée. On voit au-dessus de l'appareil l'électro et le disque du frein.

Pour faire varier la sensibilité de l'instrument, il suffit de faire tourner les lames II', qui amènent le courant, de façon à ce que la direction de celui-ci fasse un angle plus ou

moins grand avec le plan de l'aimant D. Quand le courant est parallèle à l'aimant, l'action est maximum, quand il est perpendiculaire, l'action est nulle.

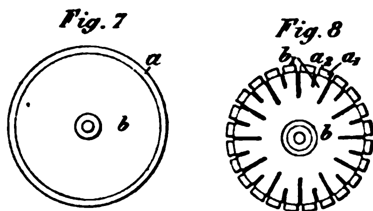
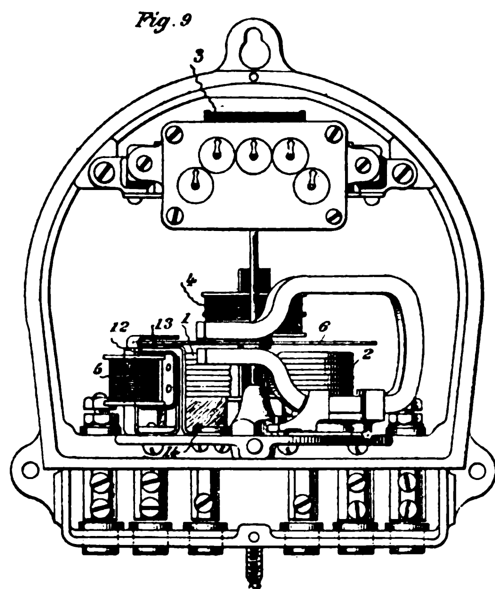
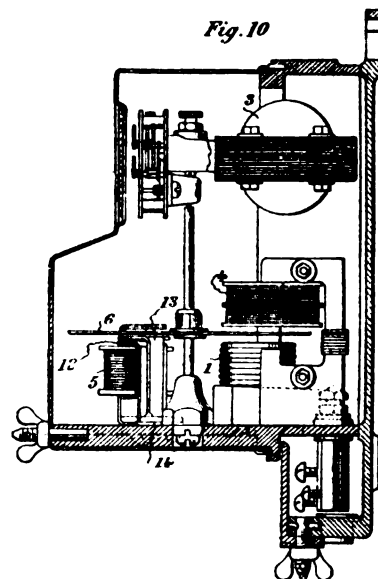


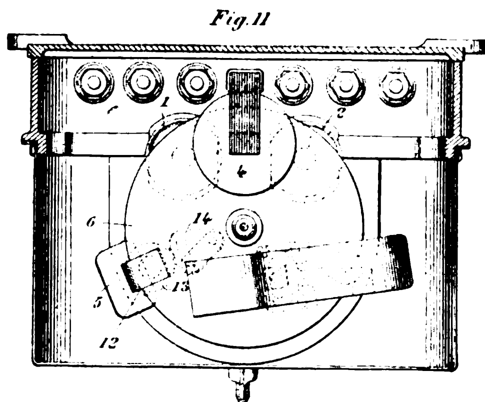
Fig. 7 et 8. — Détails du compteur à mercure Hookham.

Le disque-moteur doit être nickelé, pour éviter l'attaque par le mercure, sauf sur la tranche qui doit être amalgamée. Une couche trop forte de nickel trouble les indications de l'appareil, aussi, dans ce modèle, on garnit seulement de nickel un très étroit anneau *a*, à la périphérie, le reste est simplement recouvert de vernis. Quand le disque est fendu, figure 8, on nickèle tout le tour des parties *a* des dents, le reste est verni.

Le dispositif de W. H. Pratt (¹) tend au même but que l'appareil pour courants alternatifs







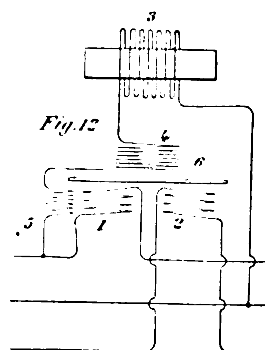


Fig. 9, 10, 11 et 12. — Élévation, coupe verticale, plan et schéma du compteur Pratt.

ci-dessus ; il consiste à faire usage d'une bobine additionnelle 5, figures 9 à 11, en série

(¹) Brevet anglais n° 21 668, déposé par The British Thomson Houston C° le 30 octobre 1899, accepté le 23 décembre 1899, 4 figures.

avec la bobine des volts 4 et une bobine de self 3. La bobine additionnelle a un noyau formé d'une lame de fer doux recourbée de facon à embrasser la périphérie du disque moteur 6. Un anneau de métal conducteur 13, porté par une lame recourbée 14, vient se placer entre le disque et un des pôles de la bobine 5, de sorte que, l'anneau n'étant pas placé symétriquement au pôle, un autre champ tournant, très faible, développe un couple moteur sur le disque. Selon les cas, le couple peut être réglé de manière à retarder ou à accélérer le mouvement du disque au départ. Comme l'action de la bobine 5 est très faible, il est facile de régler la position de l'anneau 13, car un grand changement dans cette position n'affecte pas sensiblement le disque. Grâce aussi à cette faible action, la bobine 5 ne fait pas sentir son effet à pleine charge ; on obtient ainsi, en agissant sur le couple de démarrage, le même effet qui est obtenu dans le brevet de Hookham en agissant sur la vitesse à pleine charge. Le système représenté par les figures 9 à 12 est relatif à une distribution à 3 fils, mais il est évident que la même disposition s'applique aussi bien à un circuit alternatif simple.

Le brevet de H. Ph. Davis et Frank Conrad [1] repose entièrement sur la construction du moteur employé dans leur compteur.

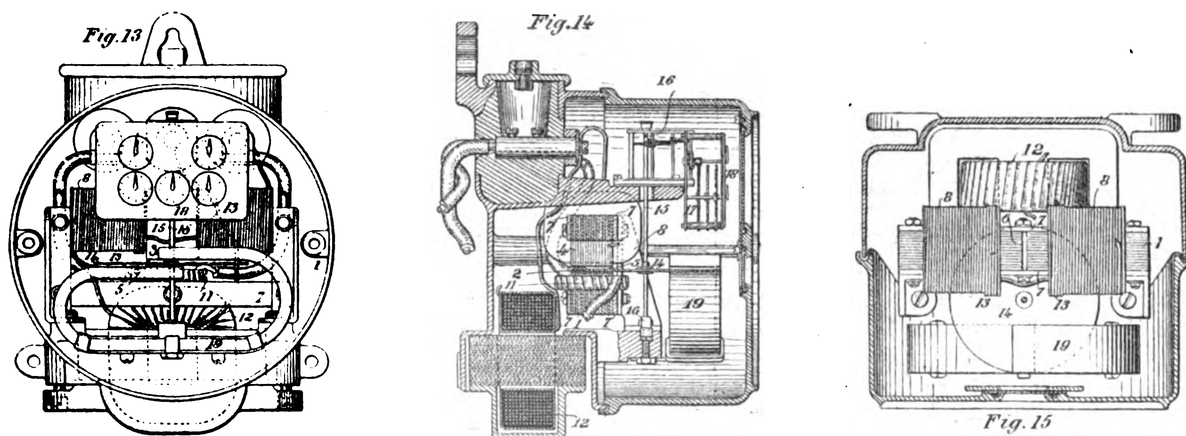


Fig. 13, 14 et 15. — Elévation, coupe verticale et plan du compteur Davis et Conrad.

Ce compteur, représenté par les figures 13, 14, 15 et 16, est indiqué schématiquement dans la figure 17, où l'on retrouve, sous les mêmes numéros, tous les organes électriques de l'appareil.

Le moteur est à champ tournant, l'armature mobile est représentée par le disque conducteur 14, porté par un axe 15, le disque se déplace dans l'entrefer 5 d'un noyau composé de lames de tôle 1 : ces lames sont en forme de 8, la branche de jonction étant coupée par l'entrefer 5, dans le sens horizontal et la partie supérieure coupée à son tour en 2 parties, 3 et 4, par un entrefer vertical 6.

Une bobine 11, enroulée en 2 sur la projection inférieure du noyau, reçoit le courant total à mesurer. Deux autres bobines 8, enroulées sur les côtés horizontaux supérieurs, sont placées en dérivation sur le circuit, ce sont les bobines des volts ; ces deux bobines sont enroulées de façon à former un circuit magnétique fermé, de plus elles sont en circuit avec une bobine de self 12 pour retarder le courant qui les traverse par rapport à la différence de potentiel à mesurer. Les choses étant ainsi disposées, si on envoie le courant dans

[1] Brevet anglais nº 10 705, déposé le 10 mai 1898, accepté le 8 avril 1899, 9 figures.

le circuit, le flux de force de la bobine 11 passe dans les pôles 3 et 4, mais en s'ajoutant au flux de l'une des bobines 8 et en diminuant l'autre ; donc le champ est inégalement réparti dans l'entrefer 5.

Si on mesure un courant alternatif où E et I sont en phase, quand I est nul, le courant dérivé en 8 est maximum, grâce à la bobine de self et le champ dans l'entrefer est minimum. Ensuite, quand le courant I augmente, le courant dérivé diminue, le champ dans l'entrefer 5, qui est la composante des actions des bobines 11 et 8, doit donc augmenter sous l'un des pôles plus vite que sous l'autre. Au moment où I est maximum, le courant dérivé est nul, le champ est uniforme en 5, puis quand I décroît, c'est le pôle le plus fort qui diminue le plus vite. Comme ces variations se reproduisent périodiquement, le champ varie aussi périodiquement, la plus grande partie du flux de force passant alternativement d'un pôle à l'autre, ce qui détermine un couple moteur sur le disque 14.

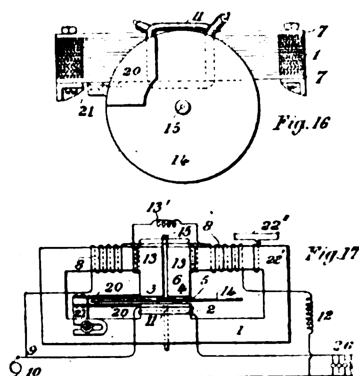


Fig 16 et 17. — Détail et schéma du compteur Davis et Conrad.

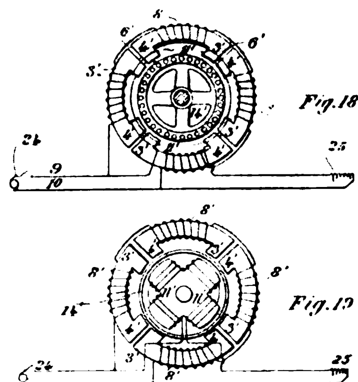


Fig. 18 et 19. — Compteur Davis et Conrad variantes.

Comme dans tous les compteurs de ce genre, un aimant permanent 19 fait frein magnétique sur le disque.

Pour assurer le décalage exact de 90° entre la force électromotrice et le courant dérivé, quelques spires de fil, 13, sont enroulées sur les branches supérieures, et une résistance 13_1 permet de régler leur action. Le couple de démarrage destiné à vaincre les frottements est produit également par un enroulement auxiliaire 22. Le flux de force de la bobine 11 produit une action retardatrice sur le disque, c'est pour éviter cet inconvénient qu'on dispose en 20 deux plaques magnétiques destinées à affaiblir le champ dans l'entrefer.

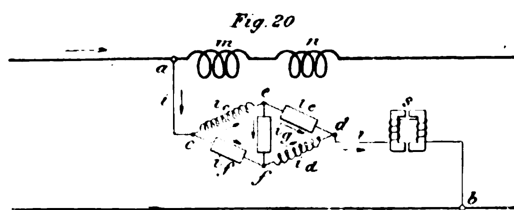


Fig. 20. — Schéma du compteur Siemens.

D'autres moteurs à champ tournant peuvent être réalisés sur le même principe, mais avec quatre pôles ; dans l'un, figure 18, l'induit est une cage d'écureuil, dans l'autre, figure 19, l'induit est un cylindre conducteur et il y a des pôles intérieurs fixes.

Pour obtenir le décalage exact de 90° entre E et le courant dérivé, point capital pour les moteurs à champ tournant, Siemens Brothers et C° (1) proposent l'emploi de résistances

(1) Brevet anglais n° 13981, déposé le 6 juillet 1899, accepté le 26 août 1899, 2 figures.

sans self-induction en dérivation sur les bobines des volts. Le schéma, figure 20, indique le montage du système : *m* et *n* sont les bobines des ampères, *ce* et *fd* les bobines des volts ; *cf*, *fe* et *ed* sont des résistances sans self. Les deux bobines des volts et les trois résistances étant placées de façon à former une sorte de pont de Wheatstone, reçoivent le courant dérivé, pris en *a* et *b*, après son passage à travers la bobine de self S. Si la branche *cf*, le *pont* du système, était supprimée, il est clair que, les bobines *ce* et *fd* étant égales, ainsi que les résistances *cf* et *ed*, les courants i_c et i_d seraient de même phase que i et par conséquent le retard de 90° ne serait pas atteint. Mais grâce à la branche *fe* les courants i_e et i_f sont avancés sur i, tandis que i_c et i_d sont retardés de telle sorte qu'on a toujours

$$i_c + i_d = i = i_f + i_e.$$

Le moyen de réglage, qui est le point capital de ce brevet, consiste à faire varier la résistance de la branche *ef*; par ce moyen on obtient exactement le retard de 90° sans faire subir à la constante du compteur une trop grande variation, comme cela aurait lieu si on mettait simplement une dérivation sans self sur les bobines *ce* et *fd*.

H. Armagnat.

RÉSISTANCE DES TRAINS A LA TRACTION

On sait l'immense intérêt soulevé dans le monde de la tration mécanique par la question de la résistance des trains. Beaucoup d'ingénieurs ont cherché une formule soit empirique, soit théorique, permettant de donner une expression de la résistance offerte par le train circulant sous une vitesse quelconque, et constituant un tonnage quelconque, pourvu naturellement que ces deux éléments fussent compris entre certaines limites.

Parmi les ingénieurs qui abordèrent de front la difficulté, un grand nombre et non des moindres, durent s'avouer vaincus. La « Locomotive Engineering » il y a quelques mois, reconnaissait galamment l'impossibilité presque radicale de trouver une méthode et des formules convenables. Si l'on veut attribuer quelque portée aux résultats aujourd'hui obtenus et aux expériences que de nombreux ingénieurs exécutent encore, il faut ne pas leur ôter leur caractère très particulier, et ne leur attribuer de valeur réelle que dans des limites très restreintes, et dans les circonstances particulières où elles ont été effectuées.

I. — Méthodes et formules employées pour obtenir la résistance des trains en général

A. Méthodes employées. — Nous allons exposer brièvement l'état de la question, au moment où les expériences très curieuses de M. Lundie, en Amérique, et de M. Mac Mahon en Angleterre ont été publiées. Ce dernier ingénieur a eu au moins le mérite de ne pas chercher comme beaucoup d'autres à faire entrer de force dans une formule établie par un trop petit nombre d'essais, tous les cas si divers dans lesquels peut s'exercer une résistance à la traction. Il n'a même pas songé à donner à ses résultats une autre forme que celle de courbes, des formules empiriques ne pouvant, à moins d'être très compliquées, rendre compte des effets obtenus.

Jusqu'ici les méthodes employées pour mesurer la résistance des trains, se ramènent à

****

deux [1] : la première consiste à considérer la résistance comme fonction de l'accélération ; la seconde, plus moderne réside dans l'emploi de dynamomètres enregistreurs.

Première méthode. — On peut l'appliquer de trois façons.

1° On lance le train à une vitesse connue et l'on mesure la distance parcourue avant l'arrêt complet.

2° On détermine l'accélération négative réalisée avec un train gravissant une rampe, ou positive dans le cas d'un train descendant une pente.

3° Le train étant lancé à une vitesse connue, on observe la perte de vitesse à des intervalles égaux.

Deuxième méthode. — Elle a été utilisée sous trois formes également :

1° Mesure de l'effort statique exercé par la locomotive, ou de l'effort de traction en cours de marche.

2° Emploi d'appareils enregistreurs fixés sur la locomotive, ce procédé est une forme plus commode du précédent, mais le dispositif est quelquefois difficile à installer.

3° Etablissement de courbes de travail des moteurs, ou caractéristiques de marche.

Les deux premiers procédés sont encore couramment employés, bien que le second soit surtout en faveur. Nous verrons, notamment, à propos des expériences de M. Mac-Mahon, dans quelles proportions les frottements des coussinets, ceux des roues sur les rails diminuent avec la vitesse. Si celle-ci n'est pas constante pendant les observations, les résultats en sont très affectés.

B. Formules proposées. — Nous allons dire quelques mots des formules anciennes ou récentes proposées pour exprimer la résistance des trains.

Représentons par V la vitesse en kilomètres par heure, par R la résistance totale du train et de la locomotive par tonne, par R′ la résistance du train, par R″ celle de la locomotive. Soient de même L le poids de la locomotive, T celui du train, par (T+L) celui du train et de la locomotive, les quantités étant exprimées en tonnes.

Les formules les plus usuelles sont les suivantes :

A. *Formule de Clark*, déduite des expériences de Gooch (1854)

$$0{,}45\,R = 8 + \frac{2{,}5V^2}{171} = 8 + \frac{V^2}{68}.$$

$$0{,}45\,R' = 6 + \frac{2{,}5V^2}{240} = 6 + \frac{V^2}{96}.$$

On emploie couramment, aujourd'hui encore la formule de Clark, sous la forme $0{,}45\,R' = 8 + \frac{V^2}{76}$: cette formule donne la résistance du train. Elle est en général insuffisante, puis qu'il n'y entre pas d'une manière explicite de facteur variant avec la locomotive.

B. *Formule de Macquorn Rankine.* — La résistance à la traction de la locomotive seule est donnée par

$$R'' = 5{,}7 + 0{,}6V\,;$$

celle du train et de la locomotive par :

$$R = 12 + 0{,}6[1{,}6V - 10](T + 2L).$$

C. *Formule de Searles.* — La résistance du train et de la locomotive a pour expression :

$$R = 10{,}6(T + L) + 0{,}031\,V^2[T + L]^2 + 0{,}002\,V^2L^2.$$

[1] *Street Railway Journal*, mars 1899, p. 142. — Train résistance, par John Balch Blood.

D. *Formule de Welkner.*— Cette formule donne dans le cas de faibles vitesses

$$R = 3{,}125 + 0{,}00079\ V^2.$$

E. *Formule de la Compagnie des Chemins de fer de l'Est français.* — Soit A la surface de front du train en mètres carrés :

$$R = (1{,}65 + 0{,}05V)(T + L) \quad \text{pour des vitesses de } 12\text{-}32 \text{ km : h}$$
$$R = (1{,}80 + 0{,}08V)(T + L) + 0{,}009AV^2 \quad \text{d}^{\circ} \ldots\ldots\ 32\text{-}50 \text{ km : h}$$
$$R = (1{,}80 + 0{,}08V)(T + L) + 0{,}006AV^2 \quad \text{d}^{\circ} \ldots\ldots\ 50\text{-}65 \text{ km : h}$$
$$R = (1{,}80 + 0{,}14V)(T + L) + 0{,}004AV^2 \quad \text{d}^{\circ} \ldots\ldots\ 65\text{-}80 \text{ km : h.}$$

F. *Formule de Wellington* :

$$R = 4R + 0{,}28V^2 + 03V^2 n + 0{,}005V^2R$$

dans cette formule, n représente le nombre des voitures du train.

II. — Expériences de M. Lundie faites sur des trains électriques composés d'automotrices et d'attelages

Dans un travail récent [1], M. Lundie a résumé le résultat de ses recherches. Il aboutit à la formule

$$R = 1{,}8 + 0{,}3\left[0{,}2 + \frac{14}{35 + T}\right]V.$$

Les expériences de M. Lundie sont particulièrement intéressantes en ce sens qu'elles ont été faites sur des automotrices munies de moteurs électriques à réduction. Les frottements dus aux transmissions ne sont certainement pas négligeables. La formule de M. Lundie conduit donc à des valeurs trop considérables pour R.

On peut, en effet, dans l'expression de la résistance d'un train de chemin de fer ordinaire distinguer trois facteurs :

1° L'un provenant des frottements des tourillons.

2° L'autre dû au frottement de roulement.

3° Le troisième résultant de la résistance de l'air.

Dans l'expression de la résistance d'un train électrique, et en général d'un train mené par une locomotive ou une automotrice dans laquelle la vitesse de l'arbre moteur exige au moins une réduction, il faut ajouter un quatrième terme relatif aux pertes de travail dans les engrenages. Nous allons, dans le cas des trains électriques étudiés par M. Lundie, évaluer ces différentes pertes. Nous dirons quelques mots d'abord de la méthode elle-même, en ce qu'elle a d'original, et nous la rapprocherons ensuite des résultats obtenus par M. Mac-Mahon.

M. Lundie a fondé sa méthode sur l'interprétation des courbes de vitesse obtenues avec un train en marche. On peut ainsi, du moins M. Lundie l'affirme, différencier les trois premiers éléments de la résistance totale. La résistance due aux frottements mécaniques reste sensiblement la même, pour des variations de vitesse considérables ; la courbe des vitesses est alors à peu près une droite, depuis la vitesse maxima jusqu'à une vitesse nulle. En fait, par l'effet de la résistance de l'air (fig. 1), la courbe des vitesses obtenue est très sensiblement au-dessous de cette droite.

[1] *Street Railway Journal*, février 1899. — Train résistance, par John Lundie.

Les résultats des essais de M. Lundie effectués sur les trains du métropolitain de Chicago sont résumés dans le graphique suivant (fig. 2). Les différentes droites obtenues viennent

Fig. 1 et 2.

couper l'axe des g en un même point : d'où l'existence d'une constante représentant la résistance minima pour un train d'un poids quelconque, sous une vitesse quelconque.

La formule de M. Lundie

$$R = 1,8 + 0,3\,V\left(0,2 + \frac{14}{35 + T}\right)$$

nous donne la résistance R en fonction de deux variables V et T.

Cette équation représente une surface ; les sections par les plans $T = T_0$ sont des droites de la forme

$$R = 4 + V\left(0,2 + \frac{14}{35 + T_0}\right).$$

Les sections par les plans $R = R_0$ sont des hyperboles équilatères. La surface est donc un hyperboloïde ayant pour plans directeurs les plans R = const. et V = const.

D'après M. Lundie, les vérifications rencontrées dans l'expérience par sa formule sont remarquables. Pour permettre au lecteur de vérifier ces assertions, nous donnerons comme exemple le tableau suivant qui rassemble les résultats de MM. Stroudley, Sinclair, Dudley les nombres correspondants obtenus avec la formule de Clark, enfin les chiffres dûs à M. Lundie.

On constate aisément que la formule de M. Lundie est d'autant plus exacte que le poids transporté est plus considérable, et qu'elle s'écarte notablement de l'expérience pour les trains légers.

Dans la formule de M. Lundie, il faudrait faire entrer comme nous l'avons vu, pour quelle fut complètement exacte, la perte de travail due aux frottements des engrenages. Un simple exemple nous montre que ce n'est pas là une quantité négligeable. Dans les automotrices du métropolitain de Chicago, il y avait deux moteurs de 60 chevaux chacun. A la vitesse de 32 kilomètres par heure, les frottements correspondaient à une perte de puissance de 2 800 watts, par voiture, ou de 1 400 watts par engrenage, soit 3,74 chevaux. La résistance du train à la traction était ainsi accrue de 1,6 kg par tonne.

Or, d'après M. Lundie, la résistance totale serait de 5,6 kg ; il faut en déduire 1,6 kg

TABLEAU I

NOMS DES EXPÉRIMENTATEURS	DATE des essais	NOMBRE des essais	VITESSE en km par heure	POIDS du train en tonnes	RÉSISTANCE EN KGS OBSERVÉE	RÉSISTANCE EN KGS CALCULÉE par la formule de Lundie
Stroudley	1885	1	70	376	5,9	6,3
Sinclair	1892	6	112	270	8,55	9,35
......	1892	1	110	270	8,95	9,35
Dudley	1882	1	82	313	7,65	7,60
»	1889	1	96	242,5	8,20	8,55
»	1889	1	102	242,5	9,10	9,00
»	1892	1	101	213	8,55	9,05
Formule de Clark			16	100	3,33	3,15
»			16	200	3,33	3,00
»			30	100	4,25	4,50
»			30	200	4,25	3,95
»			50	100	5,65	5,85
»			50	200	5,65	5,30
»			50	300	5,65	5,10

relatifs aux résistances provenant des engrenages. Les résistances de trains électriques ne peuvent donc être comparées, avec quelque chance de succès, à celles rencontrées dans les chemins de fer à vapeur ordinaires, que si l'arbre de l'induit actionne sans réduction les roues motrices.

En apportant aux chiffres de M. Lundie la correction précédente, on peut se proposer de trouver une formule empirique donnant les diverses résistances à la traction provenant des différents facteurs.

Le frottement des tourillons est pratiquement constant quand la vitesse varie, le frottement de roulement varie comme une fonction linéaire de la vitesse ; enfin la résistance de l'air varie seulement suivant une puissance *n* de la vitesse.

On a donc pour l'expression de la résistance par tonne

$$R = f + VF + \frac{AV^n}{T}.$$

Dans cette formule, T représente le poids du train en tonnes, y compris celui de la locomotive ou de l'automotrice.

F le coefficient de frottement de roulement.

A le coefficient de résistance due à l'air : la puissance *n* est déterminée par expérience et comprise entre 1 et 2.

L'indétermination pratique presque complète de ces éléments nous fait particulièrement bien saisir l'impossibilité d'obtenir une formule générale de la résistance. En effet, *f* peut varier de 3 à 6, F peut être presque égal à 0,15 dans des conditions d'exploitation particulièrement favorables. Quant à A, il dépend de la valeur de la section transversale du train, il est certainement compris entre 1 et 2.

M. J. Balch Blood [1] a cherché à faire coïncider l'équation précédente avec les résultats obtenus par M. Lundie en prenant $n=2$. La formule obtenue est la suivante :

$$R = 3 + 0,15V + 0,20\frac{V^2}{T}.$$

[1] *Street Railway Journal*, mars 1899. *Loco citato*.

En réalité, la formule qui donnerait pratiquement les meilleurs résultats serait celle-ci

$$R = 4 + 0,15V + 0,30 \frac{V^{1,8}}{T}.$$

Elle s'applique aisément aux résultats obtenus en tenant compte des frottements dans les transmissions nécessités par les moteurs électriques.

(*A suivre.*) L. Barbillion.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

GÉNÉRATION ET DISTRIBUTION

Prix de revient du cheval-heure effectif obtenu par les moteurs à gaz des hauts fourneaux, par **Aug. Dutreux**. *Génie civil*, t. XXXVII, p. 176, 7 juillet 1900.

L'auteur résume en le discutant, un article publié dans le *Stahl und Eisen* du 15 avril, par M. Munzel, directeur de la maison Otto, de Deutz.

D'après M. Munzel, le prix d'une installation de 1 000 chevaux est d'environ 250 000 fr. En admettant 4 p. 100 pour l'intérêt du capital et 7,5 p. 100 pour l'amortissement, la dépense correspondante par cheval-an est de 28,75 fr.

Pour la surveillance et l'entretien, M. Munzel admet 2,50 fr par cheval-an.

La valeur du gaz consommé est évaluée de la manière suivante : les moteurs alimentés par le gaz pauvre de gazogène consomment environ 600 gr de coke par cheval-heure ; le haut fourneau fournissant la même quantité de gaz qu'un gazogène avec une quantité de coke trois fois moindre, la consommation de coke n'est que de 200 gr par cheval-heure. D'après ces données (que M. Dutreux considère, avec juste raison, comme absolument arbitraires), et en admettant 300 journées de travail par an, chaque journée étant de 20 heures, la dépense en coke, au prix de 21,25 fr la tonne, est par cheval-an :

$$0,2 \times 0,02125 \times 20 \times 300 = 25,50 \text{ fr.}$$

Le prix de revient total du cheval-an serait donc ainsi de :

$$28,75 + 2,50 + 25,58 = 56,75 \text{ fr,}$$

ce qui conduit à 0,95 centime par cheval-heure.

Suivant M. Dutreux, ce prix est au-dessous de la vérité. Tout d'abord il estime qu'il convient de prendre 10 p. 100 pour le taux d'amortissement, les moteurs à gaz étant soumis à un travail très dur ; en comptant l'intérêt à 4 p. 100 la dépense correspondant à l'intérêt et l'amortissement du capital d'établissement devient 35 fr par cheval-an. D'autre part il considère les frais de surveillance annuels d'un moteur de 1 000 chevaux comme étant d'au moins 3 000 fr par an, et encore en supposant que l'usine comprenne 5 à 10 moteurs de ce genre ; la dépense correspondante par cheval-an se trouve être alors de 3 fr. De plus, M. Dutreux considère que la dépense annuelle de graissage ne peut être inférieure à 6 000 fr pour un moteur de 1 000 chevaux, soit 6 fr par cheval-an. On arrive ainsi à 9 fr par cheval-an pour la surveillance et l'entretien.

Pour l'estimation de la valeur du gaz consommé, la seule façon logique d'y arriver est, dit M. Dutreux « de traduire en houille le nombre de calories consommées, car il s'agit d'un combustible que l'on aurait pu brûler sous des chaudières. Or il faut environ 3,5 m³ par cheval-heure et ce gaz contient 950 calories par mètre cube. La consommation de calories par mètre cube est donc de $950 \times 3,5 = 3\,325$ calories. Comparé à de la houille ayant une puissance calorifique de 8 000 calories, le gaz consommé correspond à 0,416 kg de houille. En adoptant le prix de 15 fr par tonne pour celle-ci, on a pour la dépense annuelle par cheval,

$$0,416 \times 0,015 \times 20 \times 30 = 37,45 \text{ fr. »}$$

La dépense totale se trouve donc être, par cheval-an,

$$35 + 9 + 37,45 = 81,45 \text{ fr,}$$

soit 1,36 centime par cheval-heure.

On voit que l'estimation de M. Dutreux est de 40 p. 100 environ plus élevée que celle de M. Munzel.

Malgré cette majoration le chiffre auquel arrive M. Dutreux montre que le prix du cheval-heure est extrêmement faible et que l'utilisation des gaz des hauts fourneaux pour la distribution de l'énergie à grande distance par le moyen de l'électricité, permettrait d'effectuer cette distribution dans des conditions presque aussi avantageuses que lorsque la force motrice est fournie par des chutes d'eau. Cette conclusion intéresse les électriciens et c'est pourquoi il nous a paru utile de leur signaler l'article de M. Dutreux. J. R.

Emploi d'une méthode inductive pour la recherche des défauts dans les câbles armés, par **F. Probst**. *Zeistschrift fur Elektrotechnik*, t. XVIII, p. 210, 29 avril 1900.

Un conducteur parcouru par un courant alternatif ou intermittent est entouré d'un flux variable qui produit des courants induits dans un circuit fermé. Ces courants peuvent être facilement décelés avec un téléphone relié aux bornes d'une bobine d'induction convenable. On donne

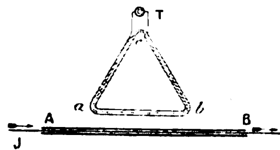


Fig. 1.

à cette bobine la forme d'un triangle plat (fig. 1) *abc* dont un des côtés est parallèle au conducteur. L'intensité du courant induit dépend de l'intensité du courant inducteur, de la distance entre la bobine et le conducteur, du nombre de spires et de la grandeur de la bobine.

Divers auteurs ont basé sur cette propriété une méthode pour la recherche des défauts dans les canalisations formées de deux câbles séparés. Les figures 2 et 3 représentent les schémas des montages employés pour la recherche d'une perte à la terre et d'un court-circuit. Dans les deux cas le courant ne circule dans les câbles qu'entre la source et le défaut ; les effets d'induction sur la bobine cessent donc lorsqu'on franchit le défaut. Cette méthode n'exige évidemment pas que les câbles soient découplés et le service interrompu : mais ces dispositifs sont compliqués et ne s'appliquent pas toujours dans tous les cas. Dans les figures 2 et 3 on a supposé que le courant était continu : pour avoir des effets d'induction assez intenses, on a disposé une batterie de lampes commandées par un interrupteur, ce qui donne un courant intermittent.

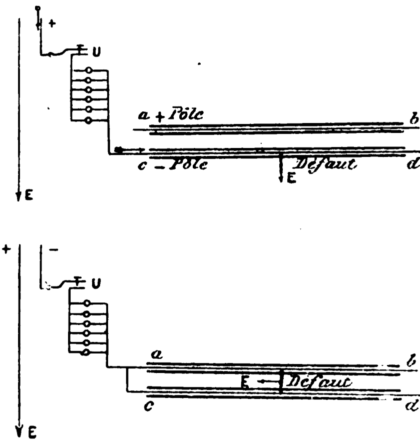


Fig. 2 et 3.

Les conditions sont toutes différentes s'il s'agit de câbles concentriques ou torsadés : il ne peut se produire aucun effet inductif tant que les deux conducteurs sont traversés par le même courant. Donc pour produire des effets d'induction, il est nécessaire ou bien qu'un seul des deux câbles soit traversé par le courant, ou bien que le courant de l'un soit plus intense que celui de l'autre.

Pour que la méthode que nous allons exposer donne de bons résultats, il est nécessaire que le défaut soit bien prononcé et que sa résistance soit très faible. Il faut donc commencer par annuler cette résistance.

La figure 4 indique le dispositif nécessaire. L'appareil se compose d'une résistance avec un ampèremètre en série et un voltmètre. Le tout est facilement transportable dans une petite voiture. Dans l'application que l'on en a faite au réseau de Vienne, où la tension alternative est de 2 000 volts, les résistances étaient constituées par des spirales de nickeline de 3 millimètres fixées à des poulies de porcelaine et d'une résistance totale de 70 ohms. Une tension de 2000 volts y donnait donc une intensité de 28 à

30 ampères. Les essais montrèrent que cette intensité était très suffisante.

Le rhéostat est partagé en 17 subdivisions : une manette permet de monter la tension suffi-

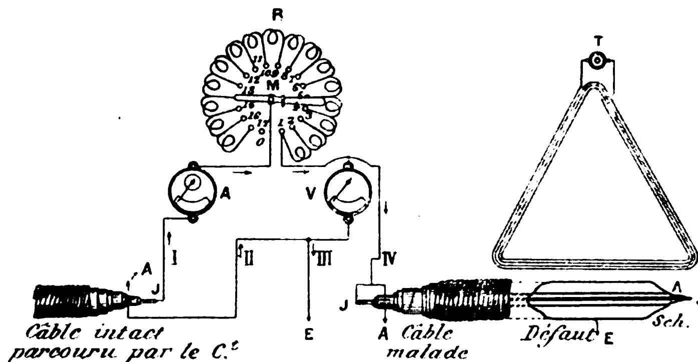


Fig. 4.

samment pour brûler entièrement le défaut et annuler sa résistance. Dans la figure 4 on a représenté le dispositif permettant de rechercher une terre ou un court circuit : on a supposé que le câble endommagé a été mis hors circuit soit automatiquement, soit à la main.

Pour rechercher si un câble est intact, on emploie le montage de la figure 5. La voiture est amenée à la boîte de réseau ouverte ; la borne J du câble intérieur traversé par le courant est reliée à la borne I de l'appareil, ce qui se fait par l'intermédiaire d'un conducteur très bien isolé tenu par un manche isolant et dont on plante l'extrémité dans un contact à pince. De même la borne A correspondant au câble extérieur traversé par le courant est réunie à la borne II de l'appareil ; les bornes III et IV sont reliées respectivement avec les fils extérieurs et intérieurs du câble à examiner. Quand on ferme l'interrupteur S_1 le courant passe par le fusible BS_1, par l'ampèremètre, puis par la manette du rhéostat jusqu'au plot 0. En fermant l'interrupteur S_2, le courant du conducteur externe va d'une part au voltmètre, d'autre part par la borne III au conducteur externe du câble à visiter. Ensuite on met la manette sur le plot 17, le courant parcourt toute la résistance et va du plot 1, d'une part au voltmètre, d'autre part au fusible BS_3, à la borne IV et au conducteur interne J. Si le câble est en bon état, l'ampèremètre ne marque rien ou presque rien et le voltmètre statique indique 2000 volts. On peut alors mettre peu à peu le rhéostat en court-circuit. Si le câble alimente des branchements, l'ampèremètre indiquera alors l'intensité correspondante, mais le voltmètre indiquera toujours une haute tension, même au plot 17. Par contre si l'ampèremètre indique immédiatement le passage d'un courant et si le voltmètre statique reste sur zéro, alors que le courant traverse encore tout ou partie de la résistance, on est certain que le cable a un défaut. Si la résistance de ce défaut est nulle, l'ampèremètre marquera

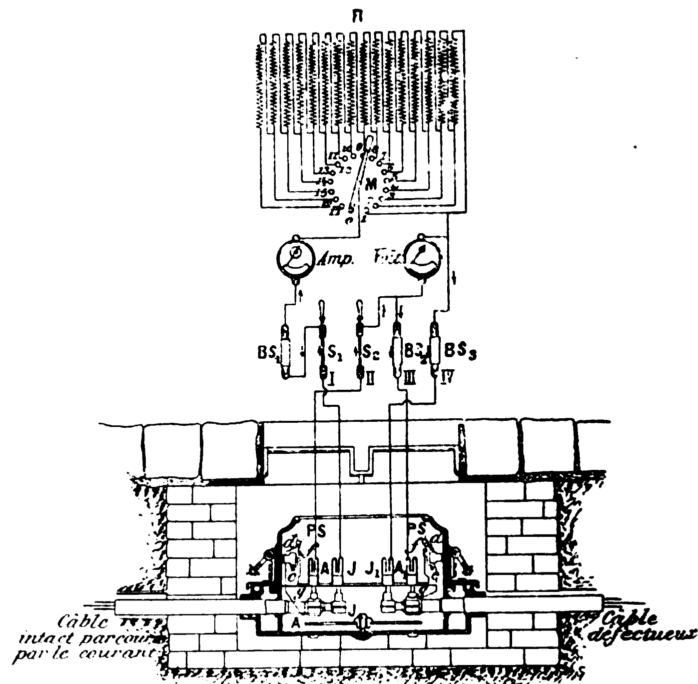


Fig. 5.

environ 30 A. Si le défaut a une certaine résistance, on met peu à peu le rhéostat en court-circuit jusqu'à ce que le courant ait absolument percé le câble à l'endroit du défaut. Puis on remet en circuit tout le rhéostat.

Pour localiser le défaut, on commence par le mettre à la terre avec le dispositif de la figure 3. Le courant part du rhéostat, puis traverse les deux conducteurs du câble défectueux, par le défaut il retourne à la terre puis à l'appareil. Le câble défectueux peut donc produire des effets d'induction. Si on suit le chemin connu du câble, le bourdonnement du téléphone dure jusqu'à l'endroit du défaut, et là, cesse brusquement. Comme bobine d'induction, on emploie une bobine de 100 spires de 0,002 mm enroulées

sur un triangle dont les côtés ont 1,50 m. Au moyen de ce triangle, on a pu constater nettement des effets d'induction, même en l'éloignant à 4 m de la terre du câble, enfoui à 0,80 m de profondeur.

Le grand avantage de cette méthode, c'est qu'elle n'exige nullement la mise hors circuit des tranformateurs alimentés par le câble, par conséquent la détermination du défaut se fait très rapidement. On peut de la même façon déterminer la trace d'un câble, lorsque celle-ci est inconnue.

Pour terminer, nous signalerons une circonstance qui se présente à Vienne, où les câbles sont placés dans des caniveaux de bois entourés d'asphalte. L'armature du câble est alors isolée de terre et le défaut ne se trouve pas toujours exactement à l'endroit indiqué par la bobine d'induction ; il est en effet très possible que le courant d'essai ne gagne pas immédiatement la terre à l'endroit du défaut, mais suive l'armature du câble et gagne la terre à la première boîte de branchement qui est toujours très bien mise à la terre. Dans ce cas, la méthode ne donne qu'un seul renseignement, c'est que le défaut se trouve avant la boîte de branchement considérée. Mais ces cas se présentent rarement car ils exigent des conditions particulières. Ils prouvent d'ailleurs que l'isolement de l'armature est entièrement préjudiciable. E. B.

ÉLECTROCHIMIE

Sur la préparation électrolytique des hypochlorites, par **A. Sieverts**. *Zeitschrift für Elektrochemie*, t. VI, p. 364-370 et 374-378; 4 et 11 janvier 1900. *Moniteur scientifique*, t. XIV, p. 400-406, juin 1900.

Un grand nombre de travaux ont été faits dans ces derniers temps sur la préparation des hypochlorites par électrolyse des solutions neutres de chlorure de sodium ou de chlorure de potassium. M. Sieverts commence par exposer les résultats de ces travaux et les raisons pour lesquelles il a cru devoir entreprendre de nouvelles recherches sur un sujet déjà si bien étudié (1). Il expose ensuite ses propres travaux, lesquels portent : 1° sur l'influence de la densité de courant sur la

(1) Voici ce qu'il dit à ce sujet :

Les résultats des recherches faites jusqu'ici sur la production des hypochlorites par électrolyse des solutions neutres de chlorures sont :

1° La fraction du courant électrique, utilisée pour la production d'hypochlorite, décroît constamment durant l'électrolyse, à mesure que la solution s'enrichit en hypochlorite ; cette fraction devient nulle lorsque ce sel atteint une certaine concentration maxima qui, d'après les recherches récentes de Haber et Grinberg (*Zts. anorg. Chem.*, t. XVI, p. 357. Haber. *Techn. Elektroch.*, p. 436, 1898) et de Muller (*Zeits. anorg. Chem.*, t. XXII, p. 35), est, aux basses températures, de 0,5 à 0,6 gr d'oxygène actif pour 100 cm³. Cette concentration une fois atteinte, il ne se forme plus que du chlorate.

2° Pour ce qui concerne l'influence de la densité du courant, les expériences d'Œttel (*Zeits. für Elek.*, t. I, p. 356 et 474) ont prouvé qu'une densité élevée est favorable au rendement. Œttel a montré aussi qu'une densité de courant élevée à la cathode diminue la réduction de l'hypochlorite formé, et, à l'anode, diminue le dégagement d'oxygène (*Zeits. für Elek.*, t. I, p. 478). On peut, en outre, déduire de ses chiffres sur la « proportion en chlore » qu'une forte densité à l'anode diminue la production de chlorate. En augmentant la densité de courant on diminue donc les causes nuisibles à un bon rendement en hypochlorite : Réduction à la cathode, dégagement d'oxygène et formation de chlorate.

3° Une élévation de température (Œttel. *Zeits. für Elek.*, t. I, p. 478) provoque une réduction et une formation de chlorate plus abondantes ; elle diminue donc le rendement en hypochlorite.

4° La concentration en chlorure, tant qu'elle n'est pas moindre que 1, 2 N., n'a, d'après les travaux de Muller (*Zeits. anorg. Chem.*, t. XXII, p. 48), aucune influence sur la formation de l'hypochlorite, à moins que la tension nécessaire pour obtenir l'intensité de courant voulue ne soit assez élevée pour que la variation de température qui en résulte fasse sentir son influence au voisinage des électrodes.

Tous ces phénomènes concordent avec les idées théoriques développées par Foerster (*Zeits. für Elek.*, t. VI, p. 1 et *Zeits. anorg. Chem.*, t. XXII, p. 1), en particulier sur l'influence de la densité du courant.

Seules, les observations de Schoop (*Zeits. für Elek.*, t. II, p. 209 et 227) sur l'électrolyse de solutions à 5 p. 100 de chlorure de calcium et à 3 p. 100 de chlorure de sodium, solutions qu'il faisait couler continuellement à travers l'électrolyseur, sont en contradiction avec ces résultats : il trouva que le rendement en hypochlorite diminuait quand il augmentait la densité du courant. Haber (*Zeits. anorg. Chem.*, t. XVI, p. 333. *Lehrbuch*, p. 447) a voulu attribuer à la grande différence des conditions expérimentales la contradiction des résultats de Foerster et de Schoop. Une preuve expérimentale n'en reste pas moins désirable. Sur la proposition de M. Foerster, j'ai fait quelques essais dans ce sens : ils sont consignés dans la première partie de ce travail.

Une autre question importante est celle des propriétés particulières des solutions d'hypochlorite préparées par voie électrolytique ; ces solutions ont une action blanchissante beaucoup plus énergique que les solutions de chlorure de chaux de même titre chlorométrique. Foerster et Bischoff (*Zeits. für Elek.*, t. IV, p. 466) ont

formation des hypochlorites, et 2° sur la détermination de la teneur en acide hypochloreux libre des solutions d'hypochlorites préparées par voie électrolytique.

I. *Influence de la densité de courant.* — On se servait, pour effectuer ces expériences, d'une cuve de verre de 20 cm de hauteur, 24 cm de longueur et 24 cm de largeur ; on y plaçait, dans le sens de la longueur, les deux électrodes maintenues à la distance de 1,8 cm par des anneaux de verre. Une lame de platine percée de trous, d'environ 2 dcm^2 de surface active, servait d'anode ; une lame de tôle de même surface servait de cathode. L'électrolyte, contenu dans un récipient placé au-dessus de la cuve à électrolyse, y coulait au moyen d'un siphon aboutissant, à sa partie inférieure, entre les électrodes. Le liquide, après avoir passé entre les électrodes, était évacué, au moyen d'un autre siphon, dans un flacon gradué ; ce dernier servait à mesurer la vitesse de circulation du liquide. Pour régler convenablement cette dernière, les siphons étaient munis de robinets de verre. La cuve à électrolyse contenait environ 650 cm^3 ; avant l'expérience on versait, dans le réservoir supérieur, un litre de la solution à étudier. On réglait la vitesse d'écoulement, de telle sorte qu'un litre traversât la cuve en 10 minutes. On versait alors la solution du réservoir inférieur dans le réservoir supérieur et ainsi de suite jusqu'à la fin de l'expérience. La cuve à électrolyse était placée dans un récipient plus grand qu'on remplissait d'eau ou de glace pour maintenir la température voulue.

Dans le circuit électrique, on mettait un rhéostat, un ampèremètre et, le plus souvent, un voltamètre à cuivre. On mesurait la tension aux bornes au moyen d'un voltmètre.

Quelques mots, maintenant, sur la méthode d'analyse et le calcul des résultats : dès que l'expérience était terminée, on prélevait 10 cm^3 de la solution et on la titrait, d'après la méthode de Penot, avec de l'acide arsénieux normal-décime. Le résultat était calculé en oxygène à l'état d'hypochlorite (1 cm^3 = 0,0008 gr O^2). Pour déterminer l'oxygène actif total on se servait de la méthode de Hempel et Fogh [1], récemment décrite par Færster et Jorre [2]. De ces deux données on déduisait la quantité d'oxygène à l'état de chlorate. Pour permettre de comparer facilement les résultats, on calculait, à partir des analyses, les facteurs suivants :

1° La concentration, exprimée en grammes par 100 cm^3 ;

2° La quantité totale, en grammes ;

3° Le rendement en courant, c'est-à-dire la quantité totale produite exprimée en centièmes de la quantité que devait produire théoriquement le courant employé.

Il fallait choisir les conditions des essais comparatifs, de façon à bien mettre en évidence l'influence de la densité du courant. L'appareil lui-même, le volume de liquide employé, la concentration en chlorure, la température et la vitesse de circulation de la solution étaient toujours à peu près identiques. La tension aux bornes du bain variait naturellement avec la densité du courant. On réglait la durée de l'expérience de façon à employer toujours la même quantité de courant ; Œttel a déjà, dans ses expériences, employé ce mode opératoire. L'expérience montre qu'il est nécessaire ; la concentration et le rendement en hypochlorite varient en effet, beaucoup quand on change la quantité d'électricité employée, comme l'auteur a pu s'en assurer.

Dans une première série d'essais l'auteur a étudié, comme Œttel, une solution de KCl, dans une seconde, comme Schoop, une solution à 5 p. 100 de $CaCl^2$. Les tableaux I et II indiquent les résultats obtenus ; pour le premier, on a calculé les quantités du courant en multipliant l'in-

attribué ce fait à l'existence d'acide hypochloreux libre. Ils comparent les solutions électrolysées aux solutions d'hypochlorite rendues plus actives par des traces d'acide (Cf. Lange et Landolt. *Chem. Ind.*, 1885, p. 337-346) : celles-ci sont en effet beaucoup plus énergiques, dans les mêmes conditions, que les solutions neutres ou alcalines. Il manquait une méthode analytique, permettant de déterminer l'acide hypochloreux libre en présence d'hypochlorite, pour vérifier expérimentalement cette hypothèse. Cela est devenu possible, grâce à la méthode publiée récemment par Jorre et j'ai pu, ainsi soumettre à l'expérience l'hypothèse de Foerster et Bischoff. On trouvera les résultats de ces recherches dans la seconde partie de ce mémoire.

(1) Fogh. *Diss.* (Dresde, 1889), p. 23.

(2) *Journ. für prakt. Chem.*, 1899, p. 59.

(3) Beebe. *The Wisconsin Engineer*, 1,574 ; (voir aussi *L'Éclairage Électrique*, t. XIV, p. 73) semble ne pas avoir tenu compte de l'influence de ce facteur ; peut-être est-ce à cela qu'il faut attribuer les résultats très divergents qu'il a obtenus sur l'influence de la densité de courant.

TABLEAU I

Electrolyte : solution de KCl.

NUMÉRO de l'expérience.	P. 100 de sel en solution.	DENSITÉ de courant ampères cent. carré.	DURÉE de l'expérience (minutes)	QUANTITÉ d'électricité (amp.-heure).	TENSION volts.	TEMPÉRATURE	OXYGÈNE ACTIF dans 100 c. cubes à l'état de hypochlorite.	chlorate.	RENDEMENT du courant en hypochlorite.	chlorate.	RENDEMENT total du courant.
1	18	0,005	120	2,1	2,6	14°	0,0165	0,00281	43,2	7,4	50,6
2	18	0,01	60	2,1	2,7	16°-18°	0,0221	0,001	57,8	2,6	60,4
3	18	0,02	30	2,1	3,0	14°-15°	0,0276	0,0016	72,3	4,2	76,5
4	3	0,01	60	2,1	3,6	15°-16°	0,0156	0,0028	40,9	7,3	48,2
5	3	0,02	30	2,1	4,6	19°	0,0178	0,0042	46,5	10,9	57,4

REMARQUE : Dans les essais 4 et 5 la concentration en chlorure (0,4N) ne se rencontre jamais pratiquement. On s'explique que, pour une si faible concentration des ions $\overline{Cl}$, la décharge des ions $\overline{OH}$ prenne d'assez fortes proportions et que, dans ce cas, la formation du chlorate soit due à une réaction primaire. C'est à ce fait qu'il faut attribuer le faible rendement en hypochlorite et la production de chlorate assez importante, augmentant avec la densité de courant.

TABLEAU II

Electrolyte : solution de $CaCl^2$.

NUMÉRO de l'expérience.	P. 100 de sel en solution.	DENSITÉ de courant ampères cent. carré.	DURÉE de l'expérience (minutes)	QUANTITÉ d'électricité (amp.-heure).	TENSION (volts).	TEMPÉRATURE	OXYGÈNE ACTIF dans 100 c. cubes à l'état de hypochlorite.	chlorate.	RENDEMENT du courant en hypochlorite.	chorate.	RENDEMENT total du courant.
6	5	0,005	111	1,956	2,6	14°-16°	0,0186	0,0012	49,5	3,4	52,9
7	5	D_K 0,0071 D_A 0,005	111	1,918	2,6-2,7	16°-17°	0,0179	0,00071	51,0	2,0	53,0
8	5	0,02	32	2,21	4,1-4,9	22°	0,0285	0,0025	71,4	6,2	77,6
9	5	0,02	30	env. 2,05	4,1-4,75	18°	0,0251	0,0015	env. 68,0	env. 4,0	env. 72,0

REMARQUE : Dans l'expérience 7 on avait réduit des 2/3 la surface de la cathode en en coupant les angles, et augmenté ainsi, 1 1/2 fois la densité de courant à la cathode. Durant les expériences 8 et 9 la solution sentait fortement le chlore (et l'acide hyperchloreux). Dans tous les cas il se séparait de l'hydrate de calcium qui recouvrait la cathode et tombait, en partie, au fond de la cuve.

tensité du courant par la durée de l'expérience ; pour le second, on les a mesurées au moyen d'un voltamètre à cuivre.

Comme on le voit, les deux séries d'expériences donnent des résultats concordants ; le rendement en hypochlorite croît en même temps que la densité de courant. Les électrolytes en mouvement se comportent exactement comme les électrolytes étudiés par Œttel ; de même, la solution qu'avait employée Schoop ne présente aucune anomalie. Ces résultats permettent aussi d'expliquer les pertes, assez importantes, en énergie. Elles ne proviennent pas, en tous cas, de la formation de chlorate ; les valeurs pour l'oxygène à l'état de chlorate sont partout très faibles. Elles ne doivent pas, non plus, être attribuées à un dégagement d'oxygène gazeux, comme cela résulte des travaux de Müller [1] ; il n'y a que les 4 p. 100 environ du travail du courant employés, dans cette période de l'électrolyse, à produire de l'oxygène. Il résulte de cet ensemble de faits que la réduction cathodique de l'hypochlorite formé est, au début de l'électrolyse, la principale cause de perte en travail.

Pour mettre en évidence l'influence de la quantité d'électricité employée, M. Sieverts a

(1) *Zeits. anorg. Chemie*, t. XXII, p. 35.

poursuivi l'expérience n° 2 pendant deux heures. La concentration en oxygène à l'état d'hypochlorite passa de 0,0221 gr à 0,0440 gr dans 100 cm³, le rendement en hypochlorite de 57,8 p. 100 à 34,9 p. 100 celui en chlorate de 2,6 à 6,5 p. 100.

Il résulte d'observations, faites au cours des électrolyses 6 et 7, que l'influence de ce facteur peut être très importante, même pour des concentrations en hypochlorite très faibles, avant que la production de chlorate ait pris quelque importance. Pendant ces deux expériences, on prit à diverses reprises des échantillons du liquide pour les titrer à l'acide arsénieux ; on mesurait approximativement les quantités d'électricité d'après le temps écoulé depuis le début de l'expérience. Le tableau III résume ces observations.

Si l'on avait calculé les rendements, comme Beebe l'a probablement fait, pour des temps égaux d'électrolyse, on aurait trouvé, ainsi que cela ressort de la comparaison des expériences 6*a*, 7*a* et 8, qu'en passant de la densité de courant 0,005 à la densité 0,02 ampère cm², on n'influe pour ainsi dire pas sur le rendement ; on voit, en comparant les expériences 6 et 7, qu'on l'augmente pourtant de 20 p. 100 quand on compare les résultats suivant le mode que j'indique.

TABLEAU III

Electrolyte : solution à 5 p. 100 de $CaCl^2$

NUMÉRO de l'expérience.	DURÉE de l'expérience jusqu'à la prise d'échantillon.	QUANTITÉ d'électricité (amp.-h.).	OXYGÈNE A L'ÉTAT D'HYPOCHLORITE dans 100 c. cubes	total.	RENDEMENT DU COURANT EN hypochlorite.	chlorate.
6 *a*	30 min.	0,529	0,0067	0,1109	70,4	
b	66 »	1,163	0,0136	0,2227	64,3	
c	111 »	1,956	0.0186	0,2883	49,5	3,4
7 *a*	29 »	0,501	0,0069	0,1104	73,9	
b	64 »	1,106	0,0129	0,2113	64,1	
c	111 »	1,918	0,0179	0,2917	51,0	2,0

L'appareil employé différait notablement de celui de Schoop. Les proportions, le mode de circulation des liquides et les électrodes étaient différents. Il était donc nécessaire d'établir si ses résultats ne provenaient pas des conditions expérimentales qu'il avait choisies. M. Sieverts a donc essayé d'établir un appareil analogue au sien, d'après la description qu'il en a donnée [1]. Toutefois il n'a pas employé, comme Schoop, des électrodes formées d'une feuille de platine iridié soudée sur une lame de plomb, mais une simple feuille de platine épaisse de 0,005 mm, serrée entre deux plaques de cuivre dans le tube en U. On réglait la vitesse de circulation de l'électrolyte au moyen d'un flacon de Mariotte ; on mesurait les quantités de courant avec un voltamètre à cuivre, l'intensité avec un ampèremètre au millième et la tension avec un voltmètre. On employait les méthodes analytiques déjà décrites. Dans les expériences 10 et 12, la vitesse de circulation était telle qu'un litre de la solution passait en une heure, à travers l'électrolyseur ; de cette façon son contenu se renouvelait toutes les deux minutes environ (comme dans les expériences de Schoop). On a doublé cette vitesse, dans l'expérience 13, en diminuant de moitié la durée de l'électrolyse. Le volume total de la solution était d'un litre, de sorte qu'une fois électrolysée elle ne repassait plus dans la cuve.

On trouvera dans le tableau IV le résultat des expériences de M. Sieverts, et dans le tableau IV*a*, à titre de comparaison, celles de Schoop, empruntées à son mémoire.

On n'a pas observé de dégagement de chlore. Durant l'expérience C, on a constaté un dégagement de gaz à l'anode (oxygène ?). On a toujours observé une séparation de chaux à la cathode.

Les résultats obtenus par M. Sieverts s'écartent beaucoup des résultats de Schoop. D'après ces derniers on devait s'attendre à un rendement

(1) *Zeits. für Elek.*, t. II, p. 212.

Tableau IV

Electrolyte : solution à 5 p. 100 de $CaCl^2$

Numéro de l'expérience.	Densité de courant ampères cent. carré.	Durée de l'expérience.	Quantité d'électricité (amp.-heure).	Intensité (ampères)	Tension (volts).	Température	Oxygène actif dans 100 c. cubes à l'état de		Rendement du courant en		Rendement total.
							hypochlorite.	chlorate.	hypochlorite.	chlorate.	
10	0,0054	60 min.	0,1795	0,18	3,1	20°	0,00205	»	38,32	»	38,32
11	0,0054	60 »	0,1806	0,18	3,1-3,2	22°,5	0,0027	0,00007	49,51	1,32	50,83
12	0,015	55 »	0,4834	0,48-0,5	3,5-3,7	23°	0,0086	0,00142	59,97	9,86	69,83
13	0,030	34,5 »	0,5229	0,93-0,96	4,1-4,2	21°	0,01	0,0003	66,75	2,31	69,06

Expérience 11 : faible odeur de chlore.
Expériences 12 et 13 : forte odeur de chlore jusqu'à la fin de la réaction.
On a toujours observé une séparation de chaux.
Expérience 10 : on a employé des électrodes neuves.

Tableau IV *a*

Electrolyte : solution à 5 p. 100 de $CaCl^2$.

Numéro de l'expérience.	Densité de courant.	Durée de l'expérience.	Quantité d'électricité (amp.-h.)	Intensité (ampères).	Tension (volts).	Oxygène à l'état d'hypochlorite dans 100 c. cubes.	Rendement du courant en hypochlorite.
A	0,0042	60 min.	0,1273	0,135-0,124	2,76-2,94	0,00312	82,3
B	0,007	45 »	0,1645	0,235-0,219	2,8-3,13	0,00354	72,2
C	0,015	60 »	0,4742	0,566-0,456	3,2-3,67	0,0068	48,1

de 70-80 p. 100 dans l'expérience 11, et de 48 p. 100 dans l'expérience 12. Au lieu de cela, on a obtenu 49 p. 100 et 59 p. 100. L'influence de la densité de courant se fait bien sentir dans le sens indiqué, mais en contradiction avec les expériences de Schoop. M. Sieverts ne peut donner la cause de cette surprenante divergence ; il ne pense pas qu'il faille l'attribuer à la faible différence des électrodes. On peut en trouver, peut-être, la cause dans une différence de composition de l'électrolyte ; en effet, dans les expériences de Schoop, il ne se dégageait pas de chlore. M. Sieverts a employé, pour préparer ses solutions, du chlorure de calcium cristallisé ($CaCl^2 + 6H^2O$), Schoop s'est peut-être servi d'un sel impur ou alcalin.

Dans les expérieures 10 à 12 les rendements sont rapportés à des électrolyses d'égale durée, suivant la méthode de Schoop ; cette méthode n'est pas rationnelle s'il s'agit d'étudier l'influence de la densité du courant, Schoop maintenant le liquide le même temps dans l'électrolyse, en opérant avec une densité de 0,12 ou de 0,56 ampère. Un même volume de liquide est ainsi traversé par des quantités d'électricité très différentes et la concentration en hypochlorite croît très inégalement dans les deux cas (0,0031 gr. et 0,0068 gr. d'oxygène à l'état d'hypochlorite par 100 cm^3). Or, comme l'hypochlorite est relativement plus réduit aux fortes concentrations, les conditions de rendement étaient défavorables, dans le cas donné, quand on employait de fortes intensités de courant ; celles-ci correspondaient aux fortes densités, qui ainsi, dans une certaine mesure, paraissaient diminuer le rendement.

On obtient des résultats plus comparables en faisant agir des quantités égales d'électricité sur un même volume de solution, en augmentant, par conséquent, dans le même rapport que l'intensité du courant, la vitesse de circulation de l'électrolyte. C'est ce qui a été fait pour les expériences 12 et 13. Il est vrai que, de cette façon, on augmente aussi la vitesse de mélange des liquides entre l'anode et la cathode; il n'est donc pas possible d'effectuer des essais rigoureusement comparables.

Il semble que le mieux, pour ces sortes de recherches, est d'électrolyser, avec des quantités toujours égales d'électricité et une même vitesse de circulation, et, en outre, de faire passer plusieurs fois le liquide dans la cuve, et cela d'autant plus souvent que l'expérience est plus longue, c'est-à-dire que l'intensité du courant est plus faible. Cela revient à soumettre le liquide plus longtemps à l'action du courant quand l'intensité est faible que lorsqu'elle est forte.

C'est de cette façon qu'ont été effectuées les expériences 1 à 9; c'est ce qui les rend probantes pour l'influence de la densité de courant sur la formation des hypochlorites par électrolyse des solutions neutres des chlorures alcalins. Elles montrent que, conformément à la théorie, même lorsque l'on établit une circulation des liquides, le rendement en hypochlorite augmente en même temps que la densité de courant.

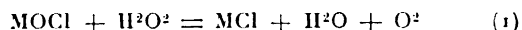
II. *Détermination de la teneur en acide hypochloreux libre.* — Il fallait effectuer les expériences, de telle sorte qu'elles fussent aussi comparables aux essais sur l'électrolyse des chlorures en solution neutre. On électrolysait, dans ce but, des solutions équivalentes de NaCl, KCl, $CaCl^2$ et $MgCl^2$, dans des conditions aussi identiques que possible, avec la même densité et la même quantité de courant. Comme type, on prit une solution qui contenait 10 grammes de NaCl pur dans 100 centimètres cubes [1]. On choisit une densité de courant un peu élevée (8 à 10 amp.-dm².) correspondant à une intensité de courant de 16 à 18 ampères. La quantité d'électricité employée était d'environ 10 ampères-heure, car il avait été établi (essai 15), qu'en employant de plus grandes quantités d'électricité dans l'électrolyse d'une solution de sel marin, le rendement en hypochlorite descend au-dessous des 50 p. 100 du rendement théorique.

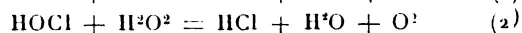
(1) On emploie une solution semblable dans l'appareil de Kellner.

Les essais furent effectués avec l'appareil déjà décrit. Comme cathode on employait, dans la plupart des cas, un treillis de fils de fer de 2 décimètres carrés de surface. Comme l'oxyde de fer, notamment dans l'électrolyse de KCl et de NaCl, souillait fortement les solutions, on essaya de remplacer le fer par le nickel. Mais ce métal, comme Œttel l'a déjà remarqué [1], est fortement attaqué dans ces conditions, et la solution d'hypochlorite se décompose rapidement au contact de l'oxyde de nickel formé.

L'auteur est donc revenu au fer, d'autant qu'il a pu s'assurer par des essais comparatifs que l'oxyde de fer, même après un long contact, n'exerce, pour ainsi dire, aucune action sur les solutions d'hypochlorite. C'est aussi pour cette raison qu'il a le plus souvent négligé de filtrer les solutions quand il voulait les conserver; pour les essais de blanchiment, il est cependant préférable de le faire, la fin de la réaction étant plus nette quand la solution est claire. Il est convaincu, cependant, que le fer n'est pas un métal bien utilisable pour les cathodes et s'il a dû s'en contenter, c'est qu'il n'avait pas à sa disposition une toile de platine de dimensions voulues. Pour ce qui concerne les conditions de l'électrolyse, il n'y a rien à ajouter à ce qui a été dit dans la première partie; les dimensions du voltamètre à cuivre étaient plus grandes à cause de la plus grande intensité de courant. L'électrolyte était refroidi par un courant d'eau glacée, de sorte que sa température, même à la fin de l'expérience, ne dépassait pas celle de la chambre. Les premières analyses et les essais de blanchiment étaient effectués aussitôt que possible après la fin de l'électrolyse.

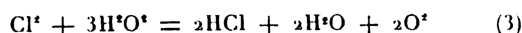
On déterminait la teneur en acide hypochloreux libre d'après la méthode de Jorre : Quand on fait couler goutte à goutte une solution d'hypochlorite et d'acide hypochloreux libre dans une solution fortement agitée et parfaitement neutre de peroxyde d'hydrogène, il se produit les réactions suivantes :


$$MOCl + H^2O^2 = MCl + H^2O + O^2 \quad (1)$$


$$HOCl + H^2O^2 = HCl + H^2O + O^2 \quad (2)$$

(1) *Zeits. für Elek.*, t. V, p. 3.

La quantité d'acide chlorhydrique produit mesure donc directement la quantité d'acide hypochloreux libre ; une molécule d'HCl correspond à une molécule de HOCl libre ou à deux équivalents d'oxygène actif. Si l'on titre l'acide chlorhydrique produit avec de la soude normale-décime, 1 cm³ de soude correspond à 0,0016 gr d'oxygène actif existant dans la solution à l'état de HOCl libre. Pour qu'on obtienne des résultats exacts, il faut que la solution ne contienne pas de chlore ; ce corps réagit, en effet, comme l'acide hypochloreux :



$$Cl^2 + 3H^2O^2 = 2HCl + 2H^2O + 2O^2 \quad (3)$$

Il faut donc, préalablement, chasser le chlore en faisant passer un courant d'air à travers la solution.

Pour déterminer le degré de stabilité des solutions d'hypochlorite obtenues par électrolyse, M. Sieverts en a exposé une certaine quantité à la lumière diffuse, dans un flacon d'Erlenmeyer fermé, et il l'a titrée à intervalles de temps déterminés. Pour mesurer le pouvoir colorant, il a suivi le procédé de Lunge (1) ; il consiste à découper, en bandes égales, du coton teint au rouge turc et à plonger une bande dans la solution à examiner. On appelle durée de blanchiment le temps que met la couleur rouge à disparaître. Le blanchiment se faisait en ballon fermé et à la lumière du jour.

On doit remarquer ce qui suit au sujet de la marche de l'électrolyse :

Les solutions de NaCl et de KCl ne dégageaient pas de chlore durant l'électrolyse; le rendement du courant en hypochlorite était relativement faible, bien que la formation de chlorate ne fût pas très avancée ; ici aussi, comme dans les essais précédents, c'est à la réduction à la cathode qu'on doit attribuer principalement ces mauvais rendements obtenus (51,66 et 32,21 p. 100 avec NaCl, et 45,38 p. 100 avec KCl.

La solution de $CaCl^2$ se comportait d'une façon beaucoup plus avantageuse, comme l'ont déjà montré Fœrster et Bischoff (2), et Œttel (3) ; dans ce cas, l'enduit de chaux, qui se forme à la cathode, diminue considérablement la réduction.

(1) *Chem. Indt*, 1885, p. 345.
(2) *Zeits. für Elek.*, t. IV, p. 464.
(3) *Zeits. für Elek.*, t. V, p. 1 ; Voir aussi MULLER, *Zeits. für. anorg. Chemie*, t. XXII, p. 57 et suiv.

Durant l'électrolyse on sentait l'odeur du chlore et de l'acide hypochloreux ; la lame de tôle servant de cathode (l'emploi d'une toile métallique aurait nécessité une trop haute tension), était, à la fin de l'expérience, complètement recouverte d'un enduit de chaux et la solution contenait de la chaux et de l'oxyde de fer.

Quant à la solution de chlorure de magnésium, son étude présente des difficultés sur lesquelles l'auteur se propose de revenir plus tard.

En comparant entre elles les solutions de NaCl, KCl et $CaCl^2$, on trouve une confirmation complète de l'hypothèse de Fœrster et Bischoff, d'après laquelle il faut attribuer le pouvoir décolorant élevé des solutions d'hypochlorite, préparées par voie électrolytique, à leur teneur en acide hypochloreux libre. Tandis que le blanchiment ne s'effectuait qu'au bout de quelques heures avec les solutions neutres ou faiblement alcalines d'hypochlorite de sodium ou de potassium, le même effet était obtenu après quelques minutes avec la solution électrolysée de chlorure de calcium de même valeur chlorométrique. L'analyse montrait qu'elle contenait 50 p. 100 de son oxygène actif à l'état d'acide hypochloreux libre. On a d'ailleurs trouvé presque le même rapport (54 p. 100) dans une détermination de l'acide hypochloreux libre, dans l'expérience n° 8, avec des conditions tout à fait différentes ; cependant, la concordance peut n'être qu'accidentelle.

M. Sieverts a établi, par des expériences spéciales, que les solutions étudiées ne contenaient pas, ou presque pas, de chlore libre : après avoir fait passer, durant 20 minutes, un courant d'air privé d'acide carbonique à travers la solution, on la retitrait à l'acide arsénieux ; elle avait alors perdu à peine 1 p. 100 de son titre chlorométrique initial.

L'étude de la stabilité des solutions a montré que, comme on pouvait s'y attendre, les solutions, faiblement alcalines, d'hypochlorite de soude et de potasse sont les plus stables. L'oxygène actif total diminuait aussi un peu, en même temps que l'oxygène, à l'état d'hypochlorite et la basicité de la solution, indépendamment de l'influence de l'acide carbonique de l'air, devenait aussi moins accentuée.

La solution de $CaCl^2$ contenait, après électrolyse (outre du chlorate), du chlorure, de l'hypochlorite et de l'acide hypochloreux libre.

D'après les recherches de Fœrster et Jorre [1], on peut facilement prévoir les réactions qui doivent se produire entre ces corps.

Le chlorure et l'hypochlorite s'oxyderont en chlorate sous l'influence de l'acide hypochloreux :



$$MCl + 3HOCl = MClO^3 + 3HCl \qquad (4)$$



$$MClO + 2HOCl = MClO^3 + 2HCl \qquad (5)$$

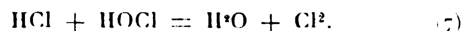
L'acide chlorhydrique produit met en liberté une nouvelle quantité d'acide hypochloreux :



$$MClO + HCl = HClO + MCl. \qquad (6)$$

Ce processus régénère la quantité d'acide employée dans la formation de chlorate, de telle sorte qu'elle doit demeurer constante tant qu'il reste de l'hypochlorite.

Lorsque tout l'hypochlorite est détruit, il se forme du chlore libre.



$$HCl + HOCl = H^2O + Cl^2. \qquad (7)$$

Comme cet acide chlorhydrique correspond à la formation de chlorate à partir d'une molécule d'acide hypochloreux, il en résulte que pour chaque molécule de chlore qui disparaît, il se produit un équivalent de chlore. Ce chlore reste, en grande partie, en solution, mais se dégage peu à peu. En suivant, par l'analyse volumétrique, ces phénomènes, on doit arriver aux résultats suivants :

S'il se produit une perte en oxygène actif total, c'est que la solution perd du chlore.

Quant à la diminution en hypochlorite, on doit la reporter, en première ligne, à la formation de chlorate.

La quantité d'acide chlorhydrique produite dans la réaction avec l'eau oxygénée ne doit diminuer que dans la proportion où il se dégage du chlore gazeux ; au commencement en effet, la quantité d'acide hypochloreux libre reste constante, et ensuite, pour chaque molécule HOCl qui disparaît, il se forme une molécule de chlore libre. Or, d'après l'équation (3), un équivalent de chlore fournit la même quantité d'acide chlorhydrique qu'une molécule d'acide hypochloreux.

Ayant titré, à divers intervalles de temps, les solutions obtenues dans deux expériences, afin d'y déterminer les quantités d'oxygène actif total, d'oxygène à l'état d'hypochlorite et d'acide hypochloreux libre (ou le total $HOCl + Cl^2$), M. Sieverts trouva des résultats analogues.

La quantité de soude, nécessaire pour neutraliser l'acide hypochloreux et le chlore libre décroît très peu dans l'espace de six jours (de 4,1 à 2,7 cm³) ; il en est de même pour l'hyposulfite qui servait à titrer l'oxygène actif total (de 20,2 à 18,5 cm³ en six jours). Il y a donc une perte faible en oxygène total et en acide hypochloreux libre (ou $HOCl + Cl^2$). Ces deux pertes marchent, en outre, d'une façon parallèle ; on peut facilement les expliquer par un dégagement de chlore gazeux. La quantité d'acide arsénieux, servant à titrer l'hypochlorite, décroît rapidement pendant le premier jour (de 16,6 à 6,8 cm³), puis ensuite plus lentement (3,8 cm³ au bout de six jours) ; c'est que la production de chlorate, d'abord très rapide, se ralentit ensuite. En tous cas, ce phénomène est lié intimement avec la disparition de l'hypochlorite.

On peut, enfin, déterminer les quantités de chlore et d'acide hypochloreux libres restant en solution.

Après six jours on fit passer, pendant 20 minutes, un violent courant d'air à travers le liquide. Il perdit ainsi son odeur de chlore et ne présentait plus que l'odeur plus fade d'acide hypochloreux.

Avant qu'on fasse passer le courant d'air, 10 cm³ de la solution équivalaient à 3,63 cm³ d'acide arsénieux normal-décime ; après, à 2,3 cm³. Des 3,63 cm³, 2,3 cm³ avaient donc été oxydés par l'acide hypochloreux et 1,3 par le chlore libre. En traitant par l'eau oxygénée 10 cm³ de la solution encore chlorée, la quantité de soude normale-décime nécessaire pour neutraliser l'acide chlorhydrique formé, devait être de

$$\left(\frac{2,3}{2} + 1,33\right) = 2,48 \text{ cm}^3.$$

L'expérience directe fournit 2,54 cm³.

En terminant M. Sieverts revient sur le cas du chlorure de magnésium. Comme Fogh [1] l'avait déjà observé, il se dégage beaucoup de chlore durant l'électrolyse de ce sel. La cathode (une

[1] *Journ. f. pr. Chemie*, N. F., t. LIX, p. 84.

[1] *Diss.* (Dresde, 1889), p. 15.

toile métallique), était recouverte d'un enduit d'hydrate de magnésium ; la solution était limpide. D'après un calcul approximatif, le rendement du courant en produit dissous fut les 80 p. 100 de la quantité théorique, soit 48 p. 100 en chlorate et 32 p. 100 en oxygène à l'état d'hypochlorite et en chlore. On dirigea un courant à travers le liquide pour chasser le chlore; au bout de 20 minutes il s'en dégageait toujours abondamment, provenant de la décomposition de l'acide hypochloreux libre, suivant la réaction exprimée par l'équation (7). L'auteur se propose, en conséquence, d'étudier de plus près la solution de chlorure magnésien, à la lumière des expériences faites sur les autres chlorures. Il signale simplement qu'au bout de six jours, la solution contenait encore du chlore libre qu'on pouvait facilement en dégager. La solution résiduelle contenait de l'acide chlorhydrique libre. L'expérience 20 fournit un résultat très surprenant. L'électrolyte contenait 8 grammes NaCl et la quantité de $MgCl^2$ correspondant à 2 grammes NaCl. On obtint ainsi une solution fortement décolorante, dans laquelle les 95 p. 100 de l'oxygène à l'état d'hypochlorite se trouvaient sous forme d'acide hypochloreux libre. Peut-être une étude approfondie contribuerait-elle à jeter de la lumière sur la façon particulière dont se comportent les solutions décolorantes de M. Hermite.

Sur l'adhérence du zinc électrolytique à l'acier, par **Sherard Cowper-Coles**. *The Electrician*, t. XLIV, p. 434, 19 janvier 1900 [1].

L'auteur a fait plusieurs séries d'expériences avec des plaques d'acier Martin Siemens dans le but de se rendre compte des conditions qui facilitent ou empêchent l'adhérence des dépôts électrolytiques de zinc sur l'acier.

Dans une première série d'expériences, les plaques, après avoir été dégraissées avec une solution chaude de soude caustique, décapées dans une solution d'acide sulfurique à 1 p. 100 et enfin séchées avec du sable étaient plongées dans un bain électrolytique contenant par litre 220 gr de sulfate de zinc et 1,25 gr d'acide sulfurique libre. La densité de courant employée était de 2,3 à 4,5 amp : cm^2, suivant l'échantillon considéré ; dans tous les cas, la plaque était laissée dans le bain électrolytique un temps suffisant pour que le dépôt ait un poids de 5,4 gr par cm^2. Les plaques étaient ensuite enlevées du bain, lavées, séchées, puis coupées en trois morceaux; l'un d'eux était placé sous le récipient d'une machine pneumatique et maintenu dans le vide pendant une demi-heure; le second était placé dans un cylindre rempli d'une solution saturée de sulfate de zinc et soumis pendant cinq minutes à une pression de 155 kg : cm^2, enfin le troisième morceau servait de témoin. Les trois morceaux furent ensuite roulés sur eux-mêmes et on constata par cette opération que la couche de zinc n'était adhérente sur aucun d'eux.

Dans un second essai, les plaques furent traitées comme il vient d'être dit avec cette seule différence qu'avant d'effectuer l'électro-déposition et alors qu'elles étaient déjà dans le bain, on faisait passer le courant pendant deux minutes et demie dans un sens tel qu'elles soient anodes. Les dépôts de zinc obtenus dans ces conditions furent parfaitement adhérents et plusieurs échantillons purent être déchirés sans que l'on ait pu constater de séparation entre le zinc et l'acier.

Une troisième série d'expériences fut entreprise dans le but de déterminer la non adhérence des dépôts de zinc sur le fer dans des solutions neutres de sulfate. Dans toutes ces expériences on employait une densité de courant de 2,3 amp : cm^2, et l'on maintint le passage du courant pendant 30 minutes, temps qui correspondait à un dépôt de 5,4 gr par cm^2.

On prit des photo-micrographies de la surface du fer avant la déposition du zinc, de la surface du dépôt de zinc et enfin de la surface du fer après en avoir enlevé le zinc par immersion dans une solution de sulfate de cuivre. On constata ainsi que les dépôts obtenus dans un bain contenant de l'acide sulfurique libre étaient très adhérents mais moins uniformes que ceux obtenus avec une solution neutre.

En produisant le dépôt d'abord par électrolyse pendant quelques secondes d'une solution neutre, puis par électrolyse d'une solution contenant 0,63 gr par litre d'acide sulfurique libre, on obtint des dépôts non adhérents mais d'une

[1] Voir aussi Cowper-Coles. Quelques notes sur l'électrozalvanisation, *L'Écl. Électr.*, t. XXII, p. 312, 24 février 1900.

apparence satisfaisante sous tous autres rapports. Enfin des dépôts produits en commençant l'électrolyse pendant quelques secondes dans une solution acide et en la continuant dans une solution neutre furent trouvés parfaitement adhérents. De ces résultats l'auteur conclut que la non-adhérence des dépôts obtenus en solution neutre est probablement due à la formation d'une couche d'oxyde sur la plaque de fer au moment où celle-ci est immergée dans le bain ; l'examen des épreuves photo-micrographiques confirme d'ailleurs cette manière de voir.

Il résulte donc de cet ensemble d'expériences qu'il est indispensable de commencer l'électrodéposition dans un bain acide, mais qu'il convient de la continuer dans un bain neutre pour avoir un dépôt plus uniforme. On peut arriver d'ailleurs au même résultat avec un seul bain en ayant soin de mettre tout d'abord les lames de fer comme anodes pendant quelques instants de manière à dissoudre la couche d'oxyde formée au moment de l'immersion ; on renverse alors le courant et l'électrolyse se produit comme à l'ordinaire.

MESURES

Nouvelle méthode pour comparer deux self-inductions, par **H. V. Carpenter**. *Physical Review*, t. X, n° 1, 1900.

L'auteur décrit une méthode qui permet de comparer deux self-inductions dont la valeur est très faible, ou bien deux self-inductions très différentes l'une de l'autre.

I. *Emploi du téléphone*. — Soient l_1 et l_2 les deux bobines dont on veut comparer les self-

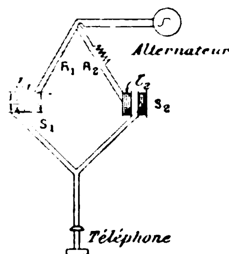


Fig. 1.

inductions L_1 et L_2. On commence par relier ces bobines en série par des fils parallèles et on met en dérivation sur l'un des fils une résistance *non-inductive* (fig. 1) ; on relie enfin les pôles communs de ces bobines à un alternateur. Le courant sinusoïdal produit par l'alternateur passe à travers les bobines l_1 et l_2, et on a comme angle de phase dans chacune d'elles :

$$\begin{cases} \varphi_1 = \text{arc tang} \dfrac{L_1\omega}{R_1} \\ \varphi_2 = \text{arc tang} \dfrac{L_2\omega}{R_2}, \end{cases}$$

R_1 et R_2 étant les résistances des deux branches parallèles comprenant les bobines l_1 et l_2, la résistance variable dans une des branches et les fils de connexions.

Si

$$\frac{L_1\omega}{R_1} = \frac{L_2\omega}{R_2}$$

on aura alors même phase pour les deux courants sinusoïdaux traversant les bobines et on tire de là,

$$\frac{L_1}{L_2} = \frac{R_1}{R_2},$$

Il s'agit donc de trouver un moyen pour établir cette concordance de phase et pouvoir la mettre en évidence.

Pour produire l'égalité de phase on fait varier la résistance non inductive.

Pour vérifier cette égalité de phase, l'auteur emploie deux bobines pareilles S_1 et S_2 contenant un grand nombre de spires, qu'il place au voisinage immédiat de chaque bobine l_1 et l_2, et qui sont reliées en série à un téléphone. La somme géométrique des forces électromotrices induites dans S_1 et S_2 donnera ainsi naissance à un courant dans le téléphone qui se manifestera par la vibration de la membrane élastique de celui-ci.

Supposons maintenant que les bobines S_1 et S_2 soient accouplées de telle manière que si les courants de l_1 et l_2 sont en concordance de phase les forces électromotrices induites ES_1 et ES_2 soient opposées l'une à l'autre dans le circuit du téléphone. La force électromotrice induite résultante sera alors nulle, ce qui se traduit par un silence dans le téléphone.

$$E = ES_1 - ES_2.$$

Ce silence du téléphone indique donc deux choses :

1° Que les deux courants primaires Cl_1 et Cl_2 sont en concordance de phase, et

2° Que les forces électromotrices induites dans le téléphone sont opposées, puisque la première condition est vraie lorsque

$$\frac{L_1\omega}{R_1} = \frac{L_2\omega}{R_2}.$$

Pour réaliser cette dernière condition on n'a donc qu'à faite varier R_1 ou R_2. Pour assurer la deuxième condition on n'a qu'à faire varier la position d'une des bobines secondaires, S_2 par exemple, par rapport à la bobine primaire correspondante.

Ces deux conditions étant remplies et accusées d'une manière très précise par le silence du téléphone, pour avoir $\frac{L_1}{L_2}$ il ne reste plus qu'à mesurer $\frac{R_1}{R_2}$.

Les relations de phase des courants et des forces électromotrices induites sont représentées par les graphiques 2 et 3. Dans ces diagrammes

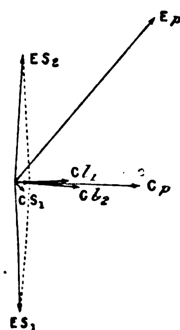


Fig. 2.

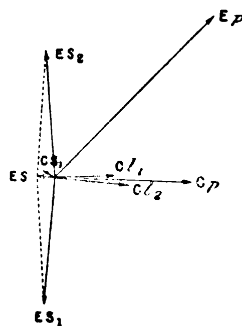


Fig. 3.

les vecteurs représentent les valeurs maxima des courants et des forces électromotrices induites ; leur direction indique la phase respective.

Les valeurs instantanées de toutes ces quantités à chaque instant sont données par les longueurs des projections de leurs vecteurs respectifs sur un vecteur mobile qui tourne dans le sens des aiguilles d'une montre de 360° pour chaque période complète (cycle) du courant.

Ceci nous montre que la force électromotrice induite atteint son maximum un quart de cycle plus tard que le courant Cl_1 qui l'induit.

Le vecteur ES_1 est à 180° pour montrer qu'il est en opposition avec l'autre vecteur ES_2.

Les graphiques précédents montrent en outre que la force électromotrice induite peut avoir une phase quelconque et qu'elle varie avec R_1 ou R_2 et avec la position de la bobine secondaire S_2 par rapport à la bobine primaire l_2.

Mais pour obtenir des résultats précis et comparables il faut se mettre à l'abri des erreurs provenant des courants induits autres que ceux que l'on peut prévoir et calculer. On y arrive facilement en disposant convenablement les bobines et les circuits (voir pour les questions de détail le mémoire original de M. H. Carpenter).

II. *Emploi de l'électrodynamomètre.* — On peut rendre cette méthode plus précise en remplaçant le téléphone par un électrodynamomètre. Le principe de la méthode reste le même, mais il y a un changement notable quant aux détails.

L'électrodynamomètre employé permettait de déceler l'existence de courants d'environ 10^{-8} ampère. La description de cet appareil se trouve dans le mémoire de M. Carpenter (*Phys. Review*, vol. X, n° 1, p. 56, 1900).

Le sens de la déviation de la bobine suspendue de l'électrodynamomètre est renversé si la phase du courant, dans l'une ou l'autre des bobines l_1 et l_2, change de 180° ; ce qui permet de voir dans quel sens il faut modifier les résistances R_1 ou R_2 pour avoir la concordance des phases, indication qu'on ne pouvait pas obtenir avec le téléphone. Le dispositif expérimental est d'ailleurs suffisamment indiqué par la figure 4.

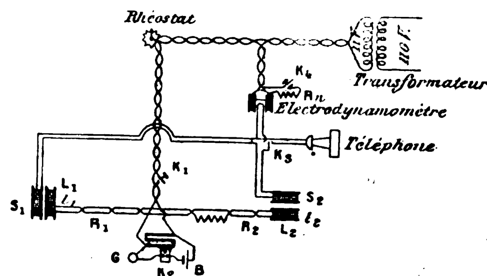


Fig. 4.

Voyons maintenant quelle est la relation entre L_1 et R_1 ou entre L_2 et R_2 pour que la sensibilité soit maximum. La force électromotrice résultante induite dans le circuit secondaire et par suite le courant induit dans le circuit secondaire (sur lequel porte les observations), varie

avec l'angle θ de la différence des phases φ_1 et φ_2 entre les circuits des deux bobines primaires l_1 et l_2 ; pour que la sensibilité soit maximum il faut qu'une très petite variation de R_1 ou de R_2 produise une variation maximum de θ, c'est-à-dire que $\frac{dR_1}{d\varphi} = minimum$.

Or la relation entre R_1 et φ_1 est

$$\tang \varphi_1 = \frac{L_1\omega}{R_1};$$

d'où

$$R_1 = \omega L_1 \cot \varphi_1.$$

Le rapport de la variation de R_1 avec φ_1 est donc,

$$\frac{dR_1}{d\varphi_1} = -\omega L_1 \operatorname{cosec}^2 \varphi_1,$$

et on aura un minimum pour

$$\frac{d^2R_1}{d\omega_1^2} = 0,$$

ce qui correspond à

$$2\omega L_1 \cot \varphi_1 \operatorname{cosec}^2 \varphi_1 = 0,$$

ou encore

$$2\omega L_1 . \frac{R_1}{\omega L_1} . \frac{R_1^2 + \omega^2 L_1^2}{\omega^2 L_1^2} = 0.$$

Puisque R_1 est la seule variable contenue dans cette expression, on voit que les résultats les plus précis seront atteints quand les résistances R_1 et R_2 seront aussi près de zéro que possible. Les formules précédentes montrent aussi que la sensibilité, quand le courant primaire est décalé de 45°, est la moitié du maximum théorique. Cette condition est réalisable avec les bobines ordinaires et avec un courant alternatif sinusoïdal dont la fréquence est de 60.

La figure 4 nous montre en outre qu'il est avantageux d'utiliser le téléphone et l'électrodynamomètre en même temps : on commence par faire les réglages préliminaires au téléphone et on les achève à l'électrodynamomètre.

Voici quelques résultats numériques obtenus avec 4 bobines différentes [1].

[1] Bobine l_1 : 70 spires ; 7 couches ; diam. = 38,605 cm. L_1 (calculé) = 0,0049046 henry

TABLEAU I

Comparaison des bobines l_1 et l_3.

R_1	R_2	L_3
3,1574	27,865	0,043285
3,1198	27,559	0,043324
3,1104	27,479	0,043327
3,0940	27,363	0,043375
3,0690	27,115	0,043330

Moyenne = 0,043328

Erreur probable = 0,000010 = 0,02 + par cm.

TABLEAU II

Comparaison des bobines l_1 et l_4.

Valeur moyenne de L_4 = 0,050767.
Erreur probable = 0,000014 = 0,03 (—) par cm.

TABLEAU III

Comparaison des bobines l_3 et l_4.

Valeur moyenne de L_4 = 0,0507445 ; $L_4 = \frac{R_4}{R_3} L_3$ où L_3 = 0,043328.
Erreur probable = 0,000012 = 0,02 (+) par cm.

TABLEAU IV

Comparaison des bobines l_1 et l_5.

Valeur moyenne de L_5 = 0,00041605.
Erreur probable = 0,00000016 = 0,04 (—) par cm.

TABLEAU V

Comparaison des bobines l_2 et l_5.

Valeur moyenne de L_5 = 0,00007164l.

La valeur moyenne de L_5 du tableau V a été calculée au moyen des valeurs de L_2, calculées elles aussi au moyen des valeurs de L_5 du tableau IV. Le tableau III donne une vérification directe de l'exactitude des rapports $\frac{L_1}{L_3}$, $\frac{L_1}{L_4}$, $\frac{L_3}{L_4}$.

La méthode précédente peut être employée également pour comparer deux capacités en les mettant en série avec les bobines l_1 et l_2.

Eugène Néculcéa.

Bobine l_2 : 8 spires ; 2 couches ; diam. = 38,681 cm. L_2 (calculé) = 0,0000726 henry.

L_1 et L_2 ont été calculés par la formule de Maxwell et Stefan (*Wied. Ann.* V, 22, p. 107, avril 1884). Quant aux bobines l_3, l_4, l_5, leurs dimensions et constantes étaient inconnues.

RECHERCHES SCIENTIFIQUES

Sur la théorie du contact, par **Quirino-Majorana.** *Rendiconti dei Lincei*, t. VIII, p. 188, 255 et 302, 1899.

Helmholtz a établi que, plusieurs métaux étant en communication avec le sol, si l'on interrompt ces communications et que l'on vienne à réunir métalliquement les conducteurs, on ne peut produire aucun mouvement d'électricité. Or, d'après la loi de Volta, deux métaux de nature différente, étant au contact, sont à des potentiels différents, il s'en suit que le sol fait partie de la série de Volta. Après avoir rappelé ce fait, le Dr Majorana résume de la façon suivante les résultats obtenus dans la théorie du contact.

1° Toutes les fois que deux conducteurs de nature différente, après avoir été déchargés au sol, sont rapprochés l'un de l'autre sans être mis en contact, ils acquièrent des charges libres d'électricité qui peuvent être enlevées au moyen d'un conducteur quelconque non électrolytique mis en communication avec le sol ou isolé, mais dans ce cas de capacité très grande relativement à celle des conducteurs sur lesquels on expérimente.

Ces charges de rapprochement sont de signe contraire à celles que l'on obtient dans l'expérience ordinaire de Volta ; le zinc approché du cuivre se charge négativement, le cuivre positivement (1).

2° Toutes les fois que deux conducteurs hétérogènes (suffisamment voisins) s'éloignent, après avoir été déchargés au sol, ils acquièrent des charges pour lesquelles on peut répéter ce qui a été dit au paragraphe 2. Les charges d'éloignement sont celles que l'on obtient dans l'expérience ordinaire de Volta ; elles sont exactement égales et de signe contraire à celles que l'on observe par rapprochement, si les déplacements des disques dans les deux expériences ont été égaux mais de sens inverse.

L'auteur a procédé à la vérification des phénomènes précédents par les ingénieuses expériences suivantes :

Dans un électromètre de Hankel la feuille d'or est remplacée par un fil très fin de quartz argenté, de capacité électrique négligeable. Avec un microscope on pointe d'ailleurs beaucoup plus facilement le fil de quartz que la feuille d'or. On peut en outre avoir une stabilité beaucoup plus grande du zéro et obtenir une plus grande sensibilité dans le même temps.

Deux disques parallèles, l'un de laiton doré, l'autre de zinc bien aplanis et polis, de 15 cm de diamètre environ sont placés à plusieurs centimètres de distance. Au moyen d'un mouvement à vis, on peut les rapprocher jusqu'à un demi-millimètre, sans qu'il y ait aucun contact.

On met les disques en communication avec le sol, le disque de zinc étant en outre relié avec le fil de quartz argenté de l'électromètre, lequel est chargé par 50 éléments Daniell.

En coupant la communication du zinc avec le sol, on n'observe aucune déviation, s'il n'y a pas de causes perturbatrices. On approche alors lentement au moyen de la vis, le zinc du disque doré, on observe une petite déviation qui va en croissant, pendant le mouvement et particulièrement quand les disques sont très voisins.

Si on laisse les disques dans cette position, le fil de quartz reste dévié du zéro, mais il y revient exactement si on éloigne de nouveau les disques ; il suffit, à cet effet, que la distance atteigne 2 à 3 cm. Si après avoir approché les deux disques, on touche pendant un instant le zinc avec un fil communiquant avec le sol ou avec une grande capacité isolée, l'électromètre retourne au zéro, et si l'on éloigne les disques on obtient une déviation positive très nette du quartz.

Les deux charges obtenues, négative dans le premier cas, positive dans le second, sont égales.

Si les déviations correspondantes sont inégales, cela tient aux différentes valeurs de la capacité du système dans les deux cas.

La charge de rapprochement a lieu pendant l'augmentation de capacité, puisque le disque de zinc s'approche du disque de cuivre qui est à un potentiel différent. La charge d'éloignement se produit dans le mouvement inverse, quand la capacité diminue.

(1) Depuis la publication de son mémoire, l'auteur a eu connaissance que Righi (*Sull'azione dei coibenti nelle experienze di elettricita di contacto* ; *Acc. dei Lincei*, série III, t. II, p. 15) avait déjà reconnu qu'en avançant deux pièces métalliques hétérogènes, on obtient des charges contraires à celles de l'expérience de Volta.

Ceux qui répètent l'expérience de Volta n'observent pas habituellement la charge de rapprochement, soit parce qu'elle ne produit qu'une faible déviation de l'aiguille de l'électromètre, soit parce que la communication d'un des métaux avec l'électromètre n'est établie qu'après l'avoir porté au contact de l'autre métal.

L'auteur s'est assuré qu'il n'existait aucune cause perturbatrice pouvant masquer le phénomène. Par exemple, si dans les mêmes conditions, on répète l'expérience avec des disques de même nature, on n'obtient aucune déviation sensible, parce que dans ce cas, quoique chaque disque soit chargé à un potentiel déterminé, les potentiels étant égaux, la variation de capacité du système est petite. En répétant l'expérience avec des disques de même nature, mais en portant l'un à un potentiel plus élevé que l'autre qui reste uni avec l'électromètre (au moyen d'un shunt mis sur le circuit d'une pile), on obtient les mêmes déviations de l'aiguille de l'électromètre, si la différence de potentiel des deux disques est de 0,8 à 0,9 volt. Cette valeur représente donc la force électro-motrice de contact du couple zinc-cuivre employé.

Ainsi, il suffit d'avancer ou d'éloigner deux pièces métalliques hétérogènes pour obtenir des charges électriques libres. Comme application, M. Majorana décrit deux appareils qui, lorsqu'ils sont en rotation permettent d'obtenir des courants électriques continus. Ces courants, d'ailleurs très faibles, sont précisément dûs à la formation et à la neutralisation de ces charges.

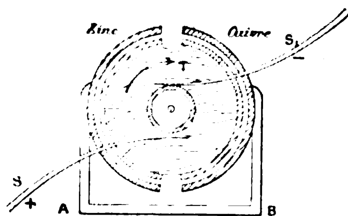


Fig. 1.

Un tambour de bois ou d'ébonite T (fig. 1) mobile est revêtu sur sa paroi de deux lames métalliques isolées, l'une de zinc, l'autre de cuivre ; chacune de ces lames recouvre le tambour sur un peu moins de 180°. Les deux lames d'un commutateur mobile et solidaire du tambour sont unies chacune avec l'un des deux métaux. Deux balais S et S′ appuient sur ce collecteur. Le tambour T est enfermé entre deux armatures cylindriques fixes qui lui sont concentriques et qui sont en communication métallique entre elles par l'étrier AB.

Pendant la rotation le zinc du tambour se rapproche du cuivre fixe et il se charge négativement ; au contraire, le cuivre s'approche du zinc et par suite se charge positivement. Par conséquent, un fil qui réunit les deux balais S et S′ est traversé par un courant dirigé de S vers S′. Après ce demi-tour, le jeu s'intervertit, puisque le zinc du tambour s'éloigne du cuivre fixe, tandis que le cuivre mobile s'éloigne du zinc fixe. Mais la position du collecteur est aussi changée, et par conséquent le balais S est toujours positif, et S′ négatif.

Par la rotation du tambour on peut donc recueillir un courant continu toujours dirigé dans le même sens.

Il serait difficile de calculer à priori l'intensité de ce courant ; néanmoins par approximation on arrive à une valeur très faible de l'ordre de 10^{-9} ampère avec l'appareil employé par l'auteur.

Un galvanomètre très sensible à forte résistance donne une déviation de 4 à 5 mm sur une échelle divisée placée à 2 m, ce qui correspond à l'ordre de grandeur calculé.

Pour amplifier l'effet, l'auteur a construit un deuxième appareil constitué par dix disques

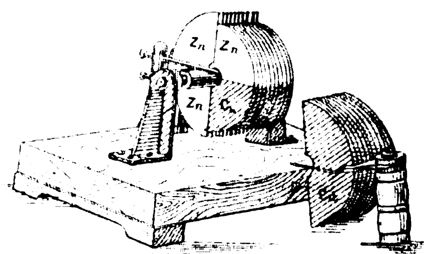


Fig. 2.

moitié zinc, moitié cuivre (fig. 2). Les armatures fixes sont portées par deux colonnettes isolantes et forment deux peignes, composés chacun de onze demi-disques de zinc ou de cuivre communiquant entre eux. Ces peignes portent chacun un balai qui frotte sur un anneau métallique fixé sur l'axe de rotation ; ces deux anneaux communiquent chacun avec une lame d'un commutateur.

Puisque, suivant la loi de Volta, les métaux

hétérogènes mis en communication métallique sont à des potentiels différents, ils doivent s'attirer, s'ils sont disposés convenablement.

L'existence de cette attraction n'avait pas encore été vérifiée expérimentalement, et même lord Kelvin, dans un récent travail [1], était d'avis qu'il serait extrêmement difficile sinon tout à fait impossible de montrer par l'expérience l'attraction de deux disques de métaux différents.

En réalité, si l'on reste dans le cas de deux disques plans et parallèles dans l'air, on ne parvient à observer aucun phénomène attractif.

La disposition expérimentale qui a donné les meilleurs résultats est la suivante :

Un fil de quartz de l'épaisseur de 1/100 de mm ou moins encore et de 10 cm de longueur est argenté sur toute sa surface (fig. 3). L'extrémité

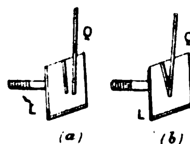


Fig. 3.

supérieure est soudée à un fil de cuivre rigide et isolé. L'extrémité inférieure est représentée en Q dans la figure ; à côté d'elle se trouve une lame carrée de zinc dont la surface a 1 cm de côté et présente le poli spéculaire, elle peut être approchée du fil de quartz à l'aide d'un mouvement à vis très lent.

Tout le système est enfermé hermétiquement dans une caisse à parois de verre ; on peut du dehors établir à volonté les communications électriques avec le fil de quartz ou la lame de zinc, et celle-ci peut en outre se déplacer au moyen de la vis déjà indiquée, commandée du dehors.

Avec un microscope dont l'axe optique est normal au fil de quartz et peu incliné sur le plan de la lame de zinc, on observe facilement l'extrémité Q et son image par réflexion sur la lame.

Le fil de quartz doit être un peu incliné sur la lame, de façon que, au moment du contact, on observe au microscope une image semblable à celle de la figure 1,*b*.

Les expériences peuvent aussi être faites en employant un microscope à projection qui permet de rendre le phénomène visible pour tout un auditoire ; il ne faut pas dans ce cas employer une lumière d'une grande intensité, sans quoi le fil de quartz éprouverait des déplacements de sa position de repos par suite des actions calorifiques

On met le fil et la lame en communication métallique entre eux et avec le sol. Cette dernière opération est nécessaire pour éviter les perturbations accidentelles.

En observant le fil au microscope et agissant très lentement sur la vis de manière à avancer le zinc, quand la distance entre le point Q et son image atteint 2/10 de mm environ, on observe un mouvement brusque du fil vers la lame ; il est donc attiré par le zinc.

Il est facile de constater que cette attraction est due à la différence de nature des deux métaux : une lame d'argent n'attire pas le fil de quartz argenté ; l'attraction a toujours lieu et même est plus marquée si l'on substitue l'aluminium au zinc ; il est facile de l'observer avec le cuivre ; elle est excessivement faible avec l'or. En dorant le fil argenté, il est attiré très faiblement par une lame d'argent et pas du tout par une lame d'or. Les lames des autres métaux se comportent sensiblement avec le fil doré comme avec le fil argenté.

Mais, dans le but de mieux étudier le phénomène, considérons la position de la figure 4. La lame L et le fil Q sont réunis chacun aux points M et C d'un fil d'argent MN parcouru par le courant d'un accumulateur. Si le fil MN est suffisamment résistant, l'accumulateur ne se décharge pas sensiblement pendant l'expérience et les deux points M et N restent à la même différence de potentiel de 2 volts environ.

Le point d'attache C est mobile sur MN, de sorte que l'on peut faire varier à volonté la différence de potentiel entre L et Q. Plaçons le commutateur R de manière que le courant aille de N en M ; alors, l'argent du fil reçoit une charge positive et la lame de zinc n'en reçoit pas puisque le point M est au sol. Réglant convenablement la position du curseur C on peut arriver à une valeur du potentiel du fil argenté telle qu'il n'y ait plus aucune attraction de la part du zinc. Si le zinc est bien poli, cela correspond à une différence de potentiel entre les deux points M et C de 0,9 volt environ.

En renversant le sens du courant à l'aide du

[1] *Phylosophical Magazine*, juillet 1898, p. 104.

cummutateur R, on peut facilement observer que l'attraction devient beaucoup plus vive qu'en éliminant l'accumulateur. Le fil de quartz commence à s'incliner visiblement vers la lame de zinc, même pour une distance d'environ 1/2 mm.

Il semble donc manifeste que l'attraction soit due à la différence des couches électriques des métaux employés. En égalisant les potentiels de l'argent et du zinc au moyen d'une pile qui a la même force électromotrice que celle existant à leur contact, l'attraction disparaît, sensiblement pour le moins.

Comme le mouvement de la vis qui commande la lame engendre des secousses dans tout l'appareil, si robustement construit qu'il soit, on peut procéder comme il suit. On envoie le courant de l'accumulateur A de N en M ; le curseur C étant dans la position pour laquelle la différence de potentiel entre M et C est de 0,9 volt, on avance la lame jusqu'à environ 0,1 mm du fil. Il n'y a pas attraction, mais en interrompant le courant, on observe subitement la chute du fil sur le zinc. En détachant ensuite le fil de la lame, de manière à les séparer de 0,5 mm, si l'on envoie le courant de M en N, on observe aussitôt l'attraction.

Des expériences précédentes, l'auteur déduit une méthode de mesure de la force électromotrice de contact de deux métaux ou mieux d'un métal quelconque avec l'argent ; il observe quelle est la force électromotrice nécessaire pour annuler l'attraction. La méthode ne paraît pas offrir à priori une grande précision, parce que outre la petitesse du phénomène il y a incertitude sur l'état superficiel de l'argent qui recouvre le fil, elle a cependant permis de ranger les métaux dans l'ordre suivant :

Aluminium	1,10
Zinc	0,90
Fer	0,50
Laiton	0,45
Cuivre	0,40
Argent	0,00
Or	0,20

L'auteur a employé aussi avec succès la balance de torsion. La difficulté que présente cette expérience est due à la présence de l'air, aussi faut-il avoir recours au vide. Dans une petite boîte de verre, est suspendue une tige portant à ses extrémités deux disques (carton doré, diamètre 2 cm) verticaux dont l'un sert de contrepoids à l'autre.

Un disque de zinc est porté par une vis mobile dans un écrou d'ébonite fixé avec du mastic dans un trou pratiqué dans une des parois verticales de la boîte de verre (fig. 5) une fermeture

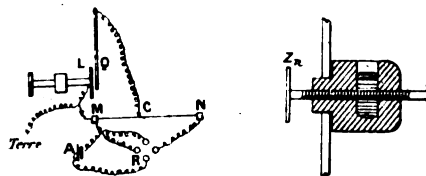


Fig. 4 et 5.

à mercure, conserve le vide même lorsqu'il est très poussé. Manœuvrant du dehors la vis, on peut faire toucher les deux disques d'or et de zinc.

Le bras supportant le disque doré est suspendu à un long fil métallique contenu dans un tube de verre vertical tenant également le vide. Un miroir porté par le système mobile permet d'en observer les mouvements. Du dehors, on peut établir les communications métalliques soit avec le disque d'or soit avec celui de zinc.

Avec cet appareil, quand le vide est très poussé (1/500 de mm), on peut répéter les expériences qui ont été faites avec le fil de quartz argenté, sauf qu'il faut un temps beaucoup plus grand. On obtient brusquement l'attraction quand les disques ne sont qu'à une petite fraction de millimètre de distance. Cette attraction peut être annulée ou augmentée, en reliant les deux métaux aux pôles d'un élément de pile.

Mais on peut encore employer une balance de torsion, même à la pression ordinaire. Il convient alors de se servir d'un disque métallique vertical fixe et d'un fil rigide formé par l'autre métal et suspendu horizontalement. Même ainsi, quand l'extrémité du fil est suffisamment voisine du disque, il est brusquement attiré et l'on n'a plus guère l'inconvénient de la résistance de l'air dans le cas des disques.

Mais la méthode la plus sûre et qui outre sa simplicité a une grande netteté est toujours celle du fil de quartz argenté.

L'auteur conclut en faisant remarquer que l'attraction des métaux différents peut se montrer par l'expérience avec assez de facilité et fournit une nouvelle méthode pour la détermination de la force électromotrice de contact, méthode qui en tout cas est assez rapide. G. G.

Le Gérant : **C. NAUD.**

Tome XXIV. Samedi 28 Juillet 1900. 7e Année. — N° 30

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

L'EXPOSITION UNIVERSELLE

GROUPE ÉLECTROGÈNE PIGUET-GRAMMONT DE 600 KILOWATTS

Le groupe électrogène Piguet-Grammont formé par un moteur monocylindrique Piguet, attelé directement à un alternateur volant A. Grammont, constitue, tout au moins en ce qui concerne l'excitation de l'alternateur, une des nouveautés de l'Exposition. Le courant d'excitation au lieu d'être produit par une dynamo à courant continu ordinaire est fourni par une excitatrice spéciale conduite par engrenage et maintenant automatiquement aux bornes de l'alternateur une tension constante quelles que soient les variations d'intensité et de décalage du courant utilisé.

Cette excitatrice du système Hutin et Leblanc repose sur le même principe que celle décrite dans cette revue [1] par M. M. Leblanc lui-même, mais en diffère essentiellement par un dispositif spécial et très original des connexions de l'induit aux lames du collecteur, dont le but est de s'affranchir de faire tourner l'excitatrice à la même vitesse que l'alternateur ou à une vitesse qui soit à celle de l'alternateur comme le rapport des nombres de pôles de l'alternateur et de l'excitatrice.

La théorie mathématique de l'excitatrice compoundeuse Hutin et Leblanc a été faite longuement ici et nous n'y reviendrons pas ; toutefois nous donnerons une explication élémentaire du fonctionnement de cet appareil qui nous a été communiquée par M. C. F. Guilbert. Nous examinerons d'abord le cas simple où l'excitatrice a le même nombre de pôles que l'alternateur, puis celui où ce nombre de pôles est quelconque.

[1] Voir M. Leblanc. « Etude sur la transmission et la distribution de l'énergie par les courants alternatifs », *L'Éclairage Électrique*, t. XVII, p. 427, 1898.

**

La genèse du procédé de compoundage Hutin et Leblanc peut se retrouver dans le diagramme des tensions d'un alternateur.

Soit, en effet (fig. 1), OA = U la différence de potentiel aux bornes d'un alternateur, OI la direction du courant débité par la machine avec un décalage φ par rapport à la tension aux bornes.

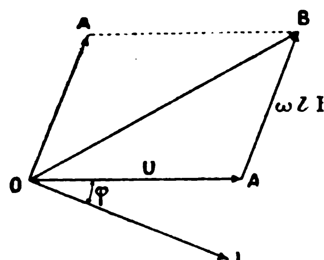


Fig. 1. — Diagramme des tensions d'un alternateur et des champs de l'excitatrice compoundeuse Hutin et Leblanc.

Admettons, pour plus de simplicité, que les circuits magnétiques sont assez éloignés de la saturation pour que la caractéristique à vide soit une droite, et supposons que la résistance apparente intérieure de l'alternateur se réduise à l'inductance ωl et reste constante quels que soient le débit et le décalage.

Pour obtenir la tension induite, on sait qu'il suffit de mener par A un vecteur AB égal à ωlI perpendiculaire à la direction du courant et de joindre OB.

La force électromotrice OB est donc la somme géométrique des deux vecteurs OA et OA′. D'autre part le vecteur OB peut représenter la direction de l'axe d'un pôle de l'inducteur et par suite a une direction indépendante du débit et du décalage ; les vecteurs OA et OA′ varient au contraire, l'un OA en direction seulement, et l'autre OA′ en grandeur et en direction avec ces deux quantités, mais toujours de façon à ce que leur résultante conserve la même direction OB.

Avec l'hypothèse de la proportionnalité des forces électromotrices aux courants d'excitation, on conçoit facilement que si l'on peut réaliser une excitatrice excitée non plus par un inducteur ordinaire, mais par deux inducteurs à courants polyphasés (fournis naturellement par l'alternateur lui-même), donnant des flux proportionnels aux deux vecteurs OA et OA′ et conservant entre eux et par rapport au vecteur fixe OB les mêmes angles que ces vecteurs, on obtiendra un compoundage parfait de l'alternateur.

L'excitatrice ayant le même nombre de pôles que l'alternateur, bipolaire par exemple, il suffira évidemment pour réaliser en grandeur les champs inducteurs, de disposer deux enroulements polyphasés convenablement déterminés [1], l'un en dérivation aux bornes de l'alternateur et l'autre en série avec le réseau, puis de les faire agir sur un induit commun disposé sur l'ensemble des anneaux portant les bobinages polyphasés. Reste à voir si les décalages entre les deux champs et par rapport à l'axe OB peuvent être également obtenus.

Supposons l'excitatrice calée sur l'arbre même de l'alternateur et inversons les connexions des champs inducteurs de façon à les faire tourner en sens contraire du mouvement de la machine. Ces champs inducteurs deviendront fixes dans l'espace puisqu'ils tournent maintenant en sens contraire de l'inducteur de l'alternateur et avec la même vitesse que lui.

Le flux dû au champ tournant dont l'enroulement est en dérivation aux bornes de l'alternateur sera décalé d'un quart de période par rapport à la différence de potentiel aux bornes, représentons-le en Oψ (fig. 2) ; celui dû à l'enroulement série sera au contraire en coïncidence de phase avec le courant, et si les prises de courant des deux circuits se correspondent, c'est-à-dire sont en regard les unes des autres, le flux correspondant au courant pourra être représenté par le vecteur Oψ'.

Les vecteurs Oψ et Oψ' étant proportionnels aux vecteurs OA et OA′ et perpendiculaires

[1] Il suffit de prendre $O\psi = kU$ et $O\psi' = kI\sqrt{r^2 + \left(\frac{2\pi}{T}\, l\right)^2}$. Voir M. M. Leblanc, *Écl. Élect.*, t. XVII, p. 429.

respectivement à ceux-ci, leur résultante sera proportionnelle à OB et perpendiculaire à cette direction.

Le champ inducteur résultant dans l'excitatrice sera donc non seulement proportionnel à la tension induite à obtenir dans l'alternateur, et par suite, d'après nos hypothèses, au courant d'excitation à produire dans l'alternateur, mais aura de plus une direction fixe dans l'espace.

Si l'on fait agir ces champs inducteurs sur un induit ordinaire de machine à courant continu, l'axe de la zone neutre et partant la position des balais sera fixe dans l'espace si l'on

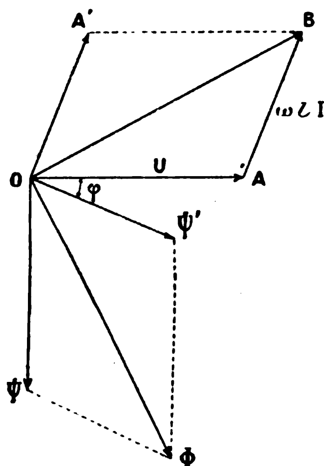


Fig. 2. — Diagramme des tensions d'un alternateur et des champs de l'excitatrice compoundeuse Hutin et Leblanc.

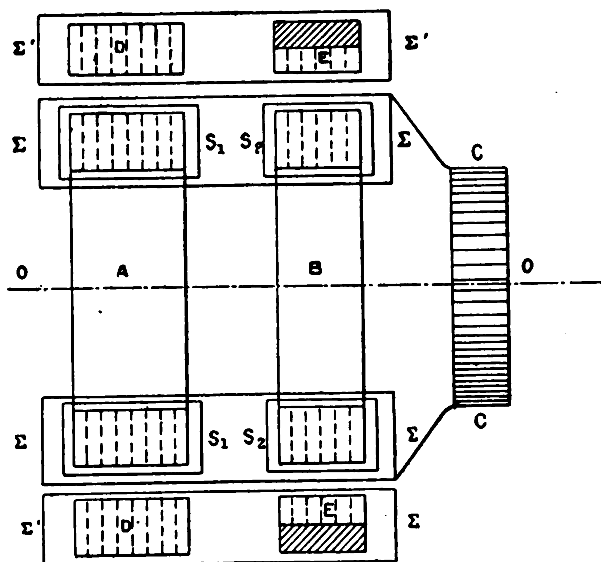


Fig. 3.— Excitatrice Hutin et Leblanc.

a soin toutefois d'annuler les réactions d'induit, comme l'a proposé M. Leblanc, par l'adjonction d'un enroulement compensateur.

Tel est le fonctionnement de l'excitatrice compoundeuse de MM. Hutin et Leblanc décrite dans l'article rappelé plus haut, et dont nous reproduisons en figure 3 la constitution schématique [1].

---

[1] M. Leblanc donnait de cette excitatrice la description suivante :

Sur un même axe OO sont disposés deux anneaux A et B. Autour de l'anneau A est monté un premier enroulement S_1S_1 de machine à champ tournant qui comporte un nombre de circuits régulièrement décalés égal à celui de l'armature de l'alternateur. Ces circuits sont reliés en série avec les circuits correspondants de l'alternateur et par l'intermédiaire de bagues et de frotteurs.

Sur l'anneau B est monté un autre enroulement de machine à champ tournant S_2S_2 dont les circuits sont aussi en nombre égal à ceux de l'armature de la génératrice, mais sont dérivés entre les points d'entrée de ces circuits et les points de sortie des circuits S_1 de l'excitatrice.

Un troisième enroulement de machine à courant continu Σ recouvre les anneaux A et B et aboutit à un collecteur CC (voy. fig. 1). Deux balais diamétralement opposés appuyés sur ce collecteur permettront de recueillir un courant qui servira à exciter l'alternateur.

Les anneaux A et B tournent à l'intérieur d'anneaux de fer extérieurs DD et EE où se ferment les flux qu'ils engendrent.

Les sections de ces anneaux DD et EE sont déterminées de telle manière que les circuits magnétiques le long desquels se propageront les flux engendrés par l'anneau A soient toujours dans un état éloigné de la saturation et qu'au contraire les circuits magnétiques le long desquels se propageront les flux engendrés par l'anneau B soient fortement saturés lorsque l'excitatrice fonctionnera dans ses conditions normales.

Le fonctionnement reste évidemment le même lorsque l'alternateur et l'excitatrice n'ont pas le même nombre de pôles, mais ont des vitesses dans le rapport inverse de ces nombres de pôles. Dans ce cas, l'excitatrice est commandée par un engrenage.

Ce dispositif a, en général, au point de vue de la construction de l'excitatrice des inconvénients assez sérieux que MM. Hutin et Leblanc ont fait disparaître en employant le dispositif très ingénieux qui permet de recueillir avec des balais fixes un courant continu sur le collecteur d'un induit soumis à l'action d'un champ tournant par rapport à celui-ci, composé comme plus haut de deux champs tournants proportionnels à la tension aux bornes et à la force électromotrice de self-induction de l'alternateur.

Ce dispositif repose sur les deux propriétés suivantes :

1°. — Considérons une dynamo à courant continu bipolaire, à anneau Gramme par exemple, dont l'induit tourne avec une vitesse n dans le sens qq_1 (fig. 4) et supposons qu'on inverse toutes les connexions des points de jonctions des sections par ce rapport à un diamètre quelconque xy. (Sur la figure, les connexions ordinaires ont été indiquées en traits ponctués et les connexions inversées en traits pleins).

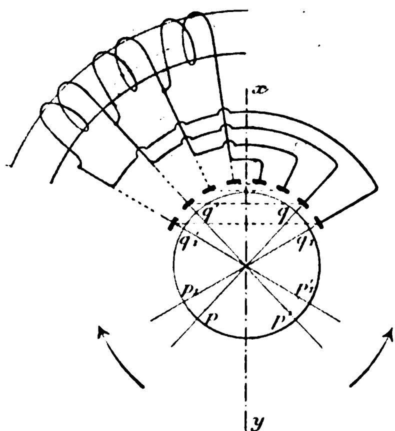


Fig. 4.

Si l'on veut recueillir un courant continu avec cette nouvelle machine, il faut que les lames défilent sous les balais dans le même sens que dans le montage ordinaire. Pour cela il nous suffit évidemment de faire tourner les balais à la vitesse angulaire n par rapport à l'induit et dans le même sens que lui.

Comme l'induit est déjà animé d'une vitesse n, les balais auront une vitesse absolue égale à $2n$.

On peut encore dire plus simplement que la zône neutre, fixe dans le cas où les connexions sont comme à l'ordinaire, se déplace maintenant symétriquement par rapport à l'axe xy ; celui-ci se déplaçant avec l'induit et par suite avec une vitesse n, la vitesse de la zone neutre sera de $2n$.

Si maintenant nous supposons que l'ensemble de l'inducteur et de l'induit tourne avec la vitesse $2n$ en sens contraire, les balais redeviendront fixes et l'inducteur tournera dans l'espace avec la vitesse $2n$ et avec une vitesse n par rapport à l'induit animé lui-même de la vitesse n. Si nous faisons tourner seulement l'ensemble en sens contraire avec la vitesse n l'induit restera fixe et l'inducteur et les balais tourneront à la même vitesse n mais tous deux en sens contraire.

Enfin un circuit Σ'Σ' entoure les anneaux DD et EE. Il comporte autant de spires que le circuit ΣΣ et est parcouru par le courant issu des balais du collecteur CC, comme le représente le schéma. Les points d'entrée et de sortie de ce circuit sont choisis de telle manière que la force magnétisante développée par lui soit toujours égale et de signe contraire à celle développée par le circuit ΣΣ. Dans ces conditions, les courants qui traverseront ces deux circuits ne pourront engendrer aucun flux dans l'excitatrice.

L'axe OO est assujetti à tourner synchroniquement avec celui de l'alternateur et lui est relié invariablement soit par accouplement direct si les deux machines ont le même nombre de pôles, soit par l'intermédiaire d'un train d'engrenages, soit par tout autre procédé équivalent.

On groupe les circuits à courants alternatifs des anneaux A et B de manière que les champs qu'ils engendrent tournent en sens inverse du mouvement des anneaux. Dès lors, ces champs sont fixes dans l'espace et l'enroulement à courant continu Σ, se déplaçant au milieu des champs fixes, développe entre les balais du collecteur CC une force électromotrice continue dont la grandeur ne dépend, pour une machine donnée, que de l'intensité des deux champs tournants et du calage des balais.

Pour une machine à $2p$ pôles on obtiendra évidemment le même résultat en adoptant p axes de symétrie.

2° Considérons en second lieu une dynamo à courant continu multipolaire avec enroulement induit en quantité. Soient $2p$ le nombre de pôles et $2pm$ le nombre de lames au collecteur.

Pour recueillir un courant continu sur cette machine dont l'induit tourne avec une vitesse angulaire n, il faut, comme on le sait, soit réunir les p lignes de balais au même potentiel en quantité, soit employer seulement deux balais et réunir entre elles par un connecteur les p lames semblablement placées par rapport aux pôles inducteurs de même nom.

Nous recueillerions encore du courant continu si nous réduisions les $2pm$ lames du collecteur à $2m$ en réunissant les p points de jonction au même potentiel à une seule lame et si nous faisions tourner deux balais aux extrémités d'un même diamètre avec une vitesse p fois plus grande que celle de l'induit ou pn, car le nombre de lames qui passera sous un balai pendant un temps donné restera évidemment le même.

Si comme plus haut, nous imprimons à l'ensemble une vitesse pn en sens contraire de la rotation de l'induit et des balais, ceux-ci deviendront fixes; tandis que l'induit et l'inducteur tourneront dans le même sens avec des vitesses respectivement égales à $(p-1)\,n$ et pn.

Supposons maintenant qu'au lieu de réduire le nombre de lames p fois, on le réduise seulement k fois, k étant un diviseur de p; on conçoit facilement qu'il suffira de faire tourner les balais avec une vitesse égale à $\frac{pn}{k}$ pour que le courant recueilli soit un courant continu.

En augmentant le nombre de lames d'un multiple de p, c'est-à-dire en prenant pour k un multiple de p on diminuerait cette fois la vitesse mais toujours dans le rapport inverse de k et la vitesse des balais deviendrait encore égale à $\frac{pn}{k}$.

Ceci posé voyons comment on peut utiliser ces deux propriétés ou même seulement l'une d'entre elles pour réaliser une excitatrice à courant continu avec des balais fixes et un champ inducteur tournant résultant de la composition de deux champs tournants constitués comme il a été dit par deux inducteurs de moteurs asynchrones dont les enroulements sont connectés, l'un en dérivation aux bornes de l'alternateur, l'autre en série avec les circuits de cet alternateur.

Soient α la fréquence des courants produits par la dynamo et $2p$ le nombre de pôles de chacun des deux inducteurs et de l'induit de l'excitatrice; la vitesse angulaire n des champs tournants inducteurs et par suite du champ résultant sera donnée par la relation

$$np = \alpha, \qquad \text{d'où} \qquad n = \frac{\alpha}{p}.$$

La vitesse angulaire de l'induit étant n', la vitesse relative du champ inducteur de l'excitatrice par rapport à l'induit sera, en admettant que l'induit tourne dans le même sens que le champ inducteur,

$$\frac{\alpha}{p} - n'.$$

Ce serait également la vitesse relative des balais par rapport à l'induit s'il y avait $2p$ lignes de balais; si nous en mettons $2k$ la vitesse de balais sera modifiée ainsi qu'on l'a vu

dans le rapport de $\frac{p}{k}$ et deviendra

$$\frac{p}{k}\left(\frac{\alpha}{p} - n'\right).$$

Inversons maintenant comme il a été dit plus haut, les connexions de l'induit par rapport à p axes de symétrie; les balais vont conserver la même vitesse relative par rapport à l'induit, mais en sens contraire de la précédente. Il en résulte que la vitesse absolue des balais aura pour valeur

$$\frac{p}{k}\left(\frac{\alpha}{p} - n'\right) - n'.$$

La condition de fixité des balais est donc

$$\frac{p}{k}\left(\frac{\alpha}{p} - n'\right) = n' \qquad \text{d'où} \qquad p + k = \frac{\alpha}{n'}$$

relation où α seul est connu. (Nous verrons plus loin les valeurs de k et p qui ont été choisies pour la réalisation de l'excitatrice).

En faisant tourner l'induit en sens contraire de l'inducteur on pourrait arriver à la fixité des balais sans renverser les connexions de l'induit.

La vitessse relative de l'induit par rapport à l'inducteur est alors $\frac{\alpha}{n} + n'$ et la vitesse relative des balais par rapport à l'induit pour 2 k lignes est $\frac{p}{k}\left(\frac{\alpha}{p} + n'\right)$.

Les balais tournant dans le même sens que le champ, leur vitesse absolue est

$$\frac{p}{k}\left(\frac{\alpha}{p} + n'\right) - n' ;$$

ce qui donne pour la condition de fixité

$$k - p = \frac{\alpha}{n'}.$$

Cette solution exige que α soit un multiple de n' et conduit à l'emploi d'un nombre très grand de lignes de balais pour une valeur convenable de la vitesse n' de l'excitatrice. Elle n'a par suite aucune valeur pratique.

Avant de passer à la description du groupe et de son excitatrice, nous ferons une dernière remarque au sujet de cette dernière.

En constituant l'excitatrice par un système inducteur à champ tournant et un induit tournant dans le même sens que le champ, on constitue en somme un véritable moteur transformateur à qui la commande par engrenages impose un glissement déterminé.

L'action des inducteurs tend ainsi à amener l'induit à la vitesse $\frac{\alpha}{p}$ de sorte que le pignon monté sur l'arbre de l'induit tend à entraîner l'arbre de l'alternateur. L'énergie empruntée par les inducteurs de l'excitatrice à l'induit de l'alternateur est donc rendue partiellement à ce dernier sous forme de travail mécanique, la partie qui en est enlevée étant transformée en courant continu pour l'excitation.

Le rapport du travail mécanique ainsi restitué au travail électrique total fourni sera évidemment au rendement près dans le rapport de n' à $\frac{\alpha}{p}$.

Il nous reste maintenant à donner quelques détails sur la constitution du groupe, dont la figure 5 représente une photographie prise du côté de l'excitatrice.

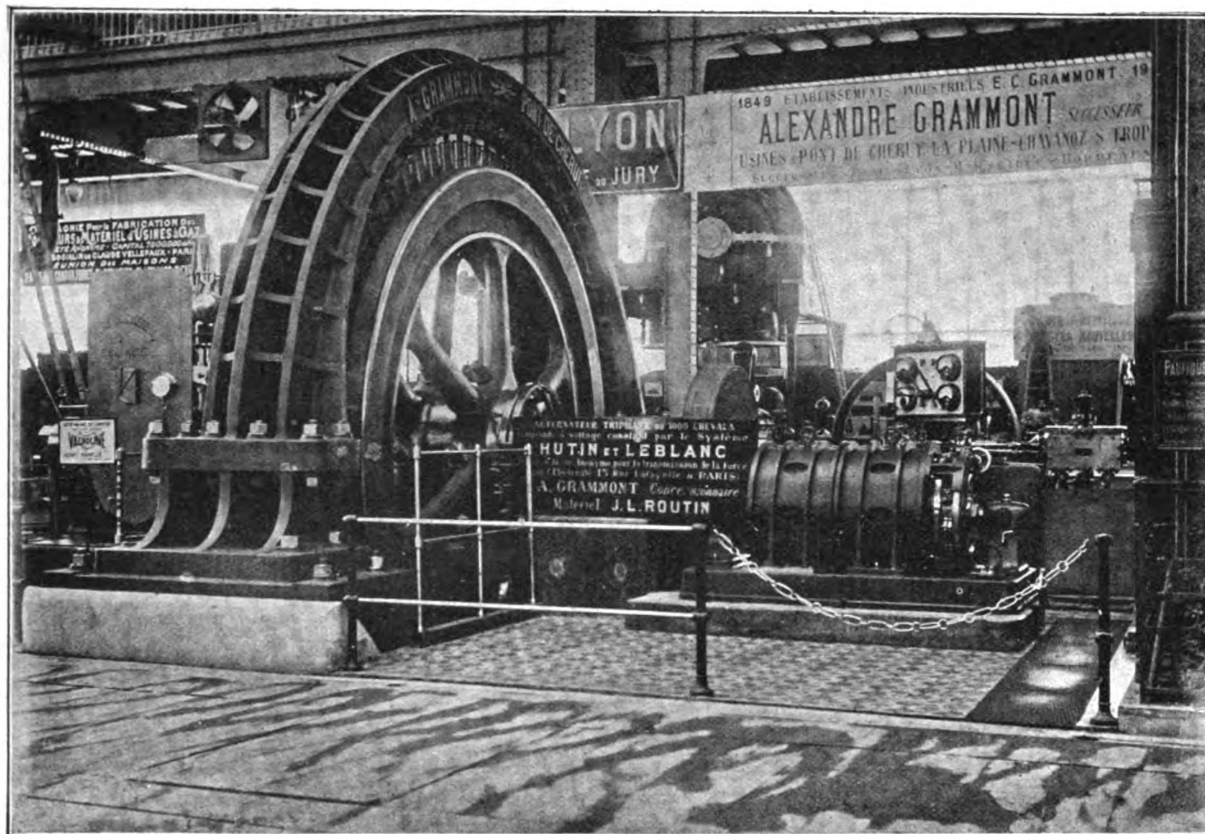


Fig. 5. — Vue d'ensemble du groupe électrogène Grammont-Piguet.

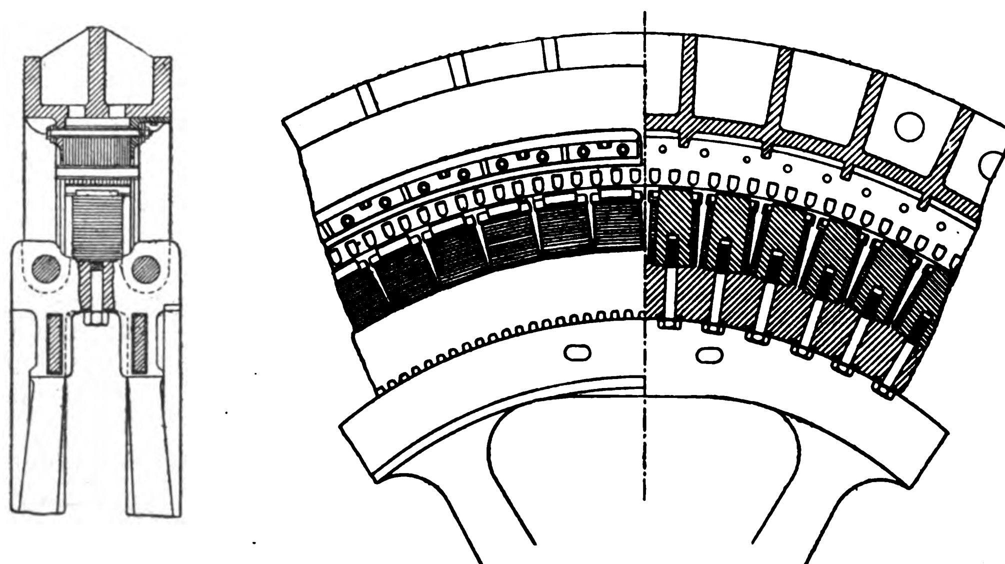
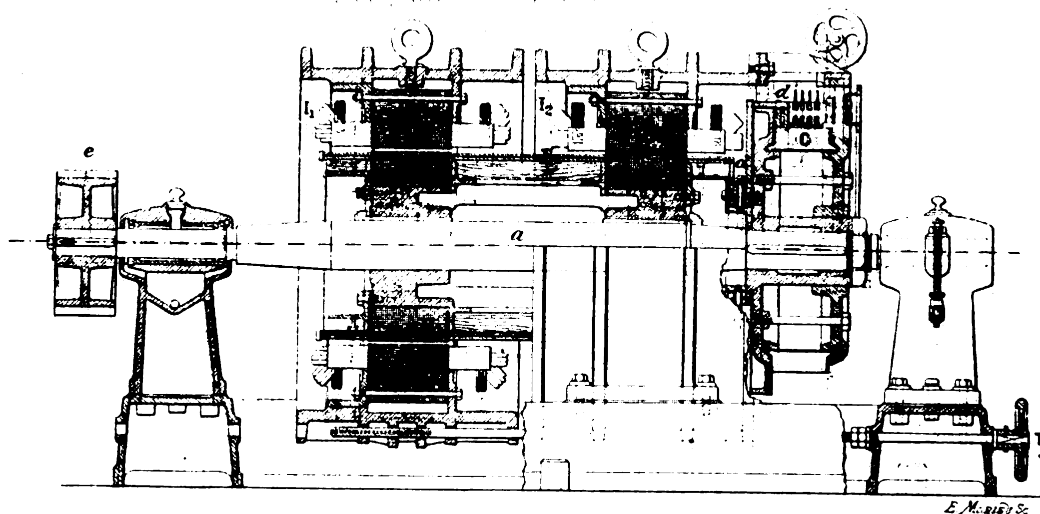


Fig. 6 et 7. — Coupes et vue de l'alternateur.

Moteur a vapeur. — Le moteur à vapeur a été construit par M. M. Piguet et Cie, de Lyon.

C'est un moteur monocylindrique à distribution par tiroir. Le diamètre du piston est de 85 cm, et la course de 110 cm. La puissance du moteur est de 1 000 chevaux indiqués à la pression de 7,5 à 8 kg : cm² et à la vitesse de 94 tours par minute. Comme toutes les machines de MM. Piguet et C[ie] il est muni d'un compas dynamométrique permettant de vérifier à chaque instant la puissance développée par la machine. Le coefficient de régularité, avec un volant de 3 5000 kg environ à la jante, est de 250.



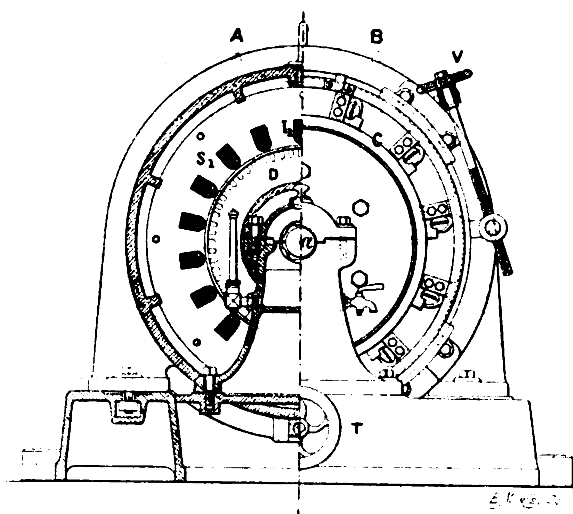


Fig. 8 et 9. — Coupes et vues de l'excitatrice.

Alternateur. — L'alternateur, étudié par M. J.-L. Routin et construit par la maison A. Grammont sous la direction de M. Baillat, a une puissance vraie de 600 kilowatts sous une tension aux bornes de 2 400 volts. La puissance apparente peut atteindre 860 kilovolts-ampères. Le montage des trois circuits est en étoile.

La fréquence est de 50 périodes par seconde à la vitesse de 94 tours : minute environ.

Inducteur. — L'inducteur en fonte, formant volant (fig. 6 et 7), a été coulé en deux parties assemblées à la jante par quatre boulons et par quatre agrafes posées à chaud; le moyeu est également assemblé par quatre boulons et est fretté par deux anneaux en fer.

Les noyaux polaires au nombre de 64, en acier coulé, ont une section circulaire de 16,5 cm de diamètre et sont surmontés d'un épanouissement polaire rectangulaire ; ils sont serrés à la surface de la jante dans des logements spéciaux à l'aide de boulons; le desserrage est évité au moyen d'un frein spécial.

L'enroulement est fait avec une bande de cuivre sur champ de 3×19 mm $= 57$ mm² de section et les spires sont séparées entre elles par du papier; l'hélice ainsi formée est retenue à la partie supérieure par une bague en bronze. Les pôles ont été tournés après bobinage.

Le nombre de spires de l'inducteur est de 70 par pôle; tous les pôles sont en série. La résistance de l'inducteur est de 0,825 ohm.

Les dimensions des épanouissements polaires sont de $15 \times 25{,}5$ cm $= 381$ cm².

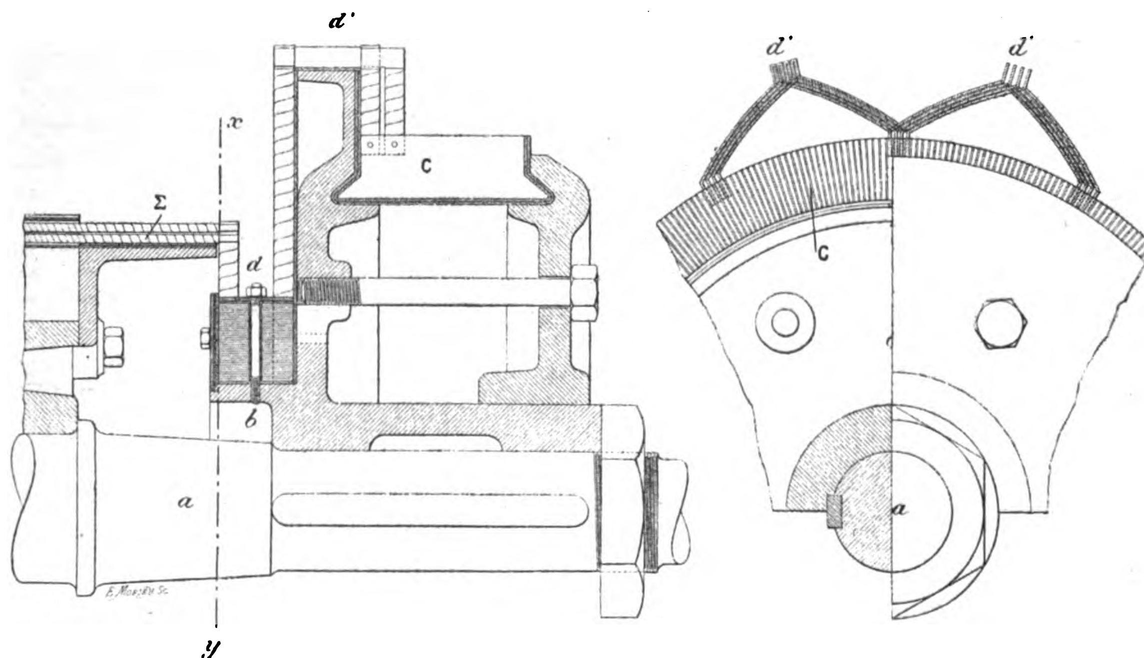


Fig. 10 et 11. — Coupe et vue des connecteurs.

Le diamètre du volant est de 4,986 m et sa largeur totale de 45 cm; son poids atteint environ 35 000 kg.

Induit. — La carcasse de l'induit séparée en deux parties est formée par un cylindre de fonte portant trois nervures principales dans des plans perpendiculaires à l'arbre et des nervures transversales. Des trous sont percés dans la carcasse pour permettre la ventilation des tôles d'induit.

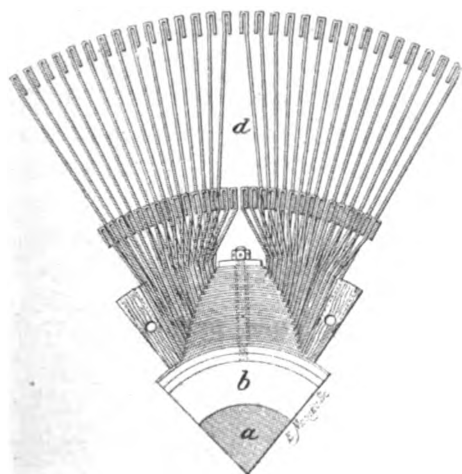


Fig. 12. — Connecteurs.

Celles-ci sont partagées en trois séries, séparées par des canaux de ventilation; elles sont assemblées à l'aide d'une cornière en acier coulé et de boulons de serrage; la largeur totale des tôles induites est 28 cm.

Le bobinage induit est disposé dans des trous de forme spéciale semi-circulaire dans le voisinage de l'entrefer et rectangulaire ensuite. L'isolement est obtenu par des tubes en micanite.

Le nombre de trous est de 3 par pôle et le bobinage est fait à la façon ordinaire. Chaque bobine comporte 7 spires de câbles formés de 37 fils de 1,5 mm de diamètre et d'une section totale de 65,4 mm².

La résistance de chaque circuit de 32 bobines est de 0,1 ohm.

***

Le courant d'excitation à vide pour obtenir 2 400 volts est de 70 ampères; en charge, avec un facteur de puissance de 0,7, il doit atteindre 120 ampères environ.

Le diamètre d'alésage de l'induit est de 5 m, ce qui correspond à un entrefer de 7 mm.

Le poids total de l'induit non compris les supports est de 15 000 kg.

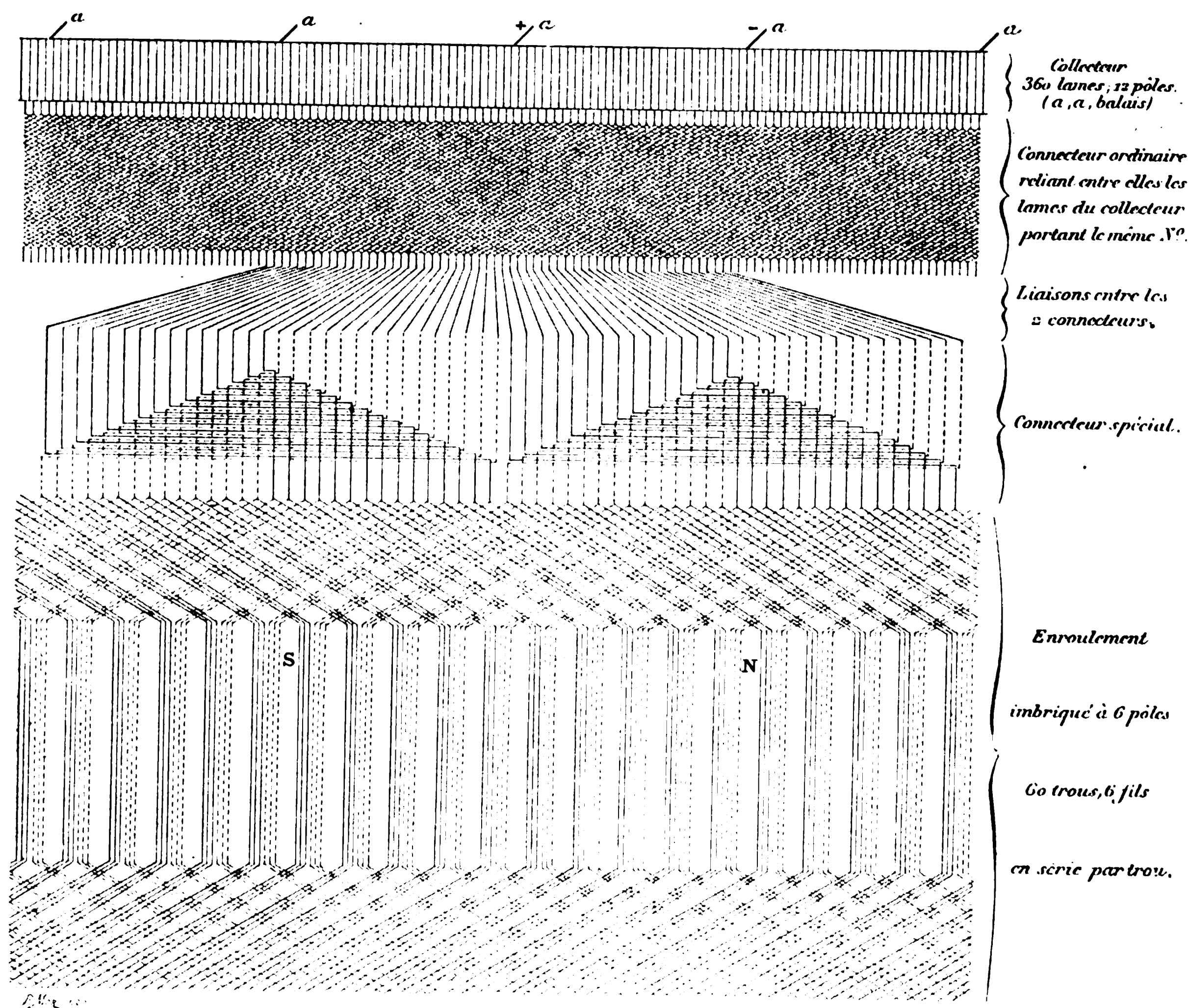


Fig. 13. — Schéma du bobinage et des connexions de l'induit.

Excitatrice. — L'excitatrice est représentée en coupes et vues partielles sur les figures 8 et 9.

Le nombre de pôles de chacun des inducteurs S_1 et S_2 est de 6, celui des lignes de balais étant de 12, la vitesse angulaire de l'induit est de $n' = \frac{\alpha}{p+k} = \frac{50 \times 60}{3 \times 6} = 333$ tours par minute.

Les deux stators A et B comportent chacun un enroulement triphasé ordinaire réparti dans 18 encoches.

Les enroulements I_1 de l'inducteur S_1 sont bobinés en fil de 0,3 cm de diamètre et ont chacun 3 bobines montées en série de 92 spires chacune. Le montage est en étoile.

Les enroulements I_2 de l'inducteur S_2 sont, comme l'induit de l'alternateur, bobinés avec du câble de 65,4 mm² de section avec également 7 spires par trou. Les sections de chaque phase sont en série avec les circuits induits de l'alternateur.

L'induit Σ de l'excitatrice porte un bobinage en tambour à 6 pôles.

L'inversion des connexions se fait à l'aide des développantes *d* (fig. 10 et 12) formées de deux bandes de cuivre étroites de longueurs différentes réunies aux deux côtés opposés d'une bande plus large et aux extrémités d'une même diagonale de cette bande.

Toutes les bandes larges correspondant à l'intervalle de deux pôles sont isolées entre elles et serrées sur un support cylindrique par des boulons *b* (fig. 12).

Les connexions des sections aux lames du collecteur sont faites à l'aide de barrettes fixées dans les développantes longues *d* réunissant celles-ci à un système de développantes *d'* (fig. 11) identique à ceux des induits multipolaires en quantité.

Le collecteur C comporte 360 lames ; son diamètre est de 50 cm. Les balais au nombre de 36 (3 par ligne), sont montés sur un support qu'on peut déplacer à l'aide d'une vis tangente V.

La figure 13 indique le schéma des connexions de l'induit de l'excitatrice aux lames du collecteur.

Pour pouvoir hypercompounder l'alternateur, on a rendu mobile l'inducteur S_1 à l'aide d'une vis T qui permet de le faire coulisser sur le bâti de façon à enfoncer plus ou moins l'induit dans ce stator et par suite à modifier son action.

J. Reyval.

DISPOSITIF FISCHER-HINNEN POUR LE DÉMARRAGE DES MOTEURS ASYNCHRONES TRIPHASÉS (1)

La maison Krizik, de Prague, emploie pour le démarrage sous charge de ses moteurs asynchrones triphasés, un dispositif dû à l'Ingénieur directeur des Ateliers, M. J. Fischer-Hinnen.

Généralement les appareils de démarrage comportent des résistances variables insérées dans le circuit du rotor, et que l'on court-circuite progressivement, à mesure que le moteur prend sa vitesse. Le succès et le coût du démarrage sont fonction de l'attention de l'ouvrier qui manœuvre les rhéostats. C'est là un inconvénient, mais il y en a de plus sérieux encore. L'appareil de démarrage à rhéostats est toujours encombrant et très cher par rapport au prix du moteur, surtout si le même organe doit servir à réaliser le changement de marche. D'autre part, quand la position relative du moteur et de l'homme qui le fait démarrer, est variable, comme c'est le cas pour les moteurs de ponts roulants, le nombre de conducteurs de contact augmente de trois.

Le système que nous allons décrire (2) échappe d'une façon ingénieuse aux inconvénients signalés.

On sait qu'au moment où le démarrage va se produire, le moteur se comporte comme un transformateur, à circuit secondaire fermé : les courants induits dans le rotor ont exactement la même fréquence que les courants envoyés dans le stator. A mesure que le moteur prend sa vitesse, la fréquence des courants induits dans le rotor diminue, et lorsque la vitesse de régime est atteinte, cette fréquence ne représente plus qu'un faible pour cent de celle des circuits primaires.

---

(1) Exposé par la maison Krizik, de Prague, Champ-de-Mars, Palais de l'Électricité, rez-de-chaussée, côté Suffren.

(2) Brevet hongrois, nº 6308.

Supposons intercalée, dans chacun des circuits secondaires S (fig. 1) d'un moteur, une grande résistance non inductive R shuntée par une résistance r, très faible vis-à-vis de la précédente et de la résistance du circuit du rotor, mais à très haut coefficient de self-induction L. Au moment du démarrage, la bobine à forte self-induction agit comme une très grande résistance ohmique, et l'ensemble des deux bobines de résistance et de self-induction se comporte comme le feraient deux grandes résistances en parallèle. Si on a bien calculé les dimensions de ces organes, le moteur peut démarrer sous charge, en absorbant un faible courant. Au fur et à mesure que la vitesse du moteur augmente, la résistance apparente de la bobine de réactance diminue, puisque la fréquence du courant qui la traverse s'abaisse, et la grande résistance ohmique se trouve shuntée par une résistance apparente, de grandeur graduellement décroissante. Enfin quand la vitesse de régime est atteinte, la résistance totale apparente du système de démarrage est sensiblement égale à la résistance ohmique de la bobine de self-induction : elle a donc une valeur très faible.

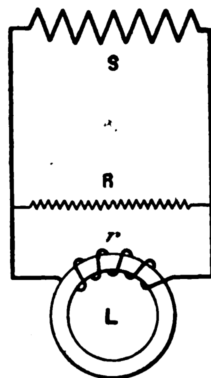


Fig. 1.

Ce dispositif de démarrage reste toujours en circuit, mais ceci n'a que peu d'influence sur la marche normale du moteur, et se manifeste par une légère diminution du facteur de puissance et une faible augmentation du glissement.

Le maximum de résistance apparente est donné par la condition

$$R = 2\pi\omega L \text{ [1]}.$$

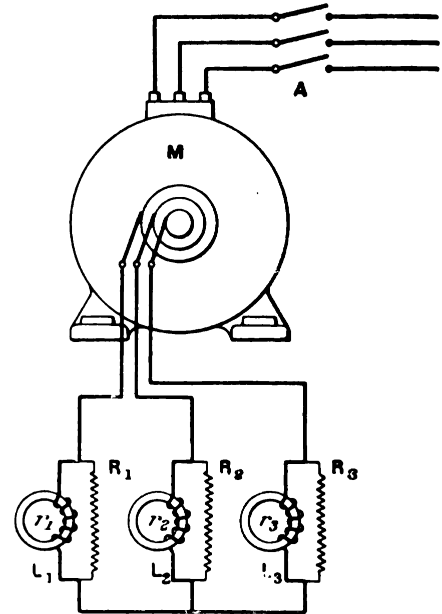


Fig. 2.

La résistance totale des deux conducteurs en parallèle est donc, au moment du démar-

(1) En effet, considérons deux conducteurs en parallèle, ayant respectivement comme résistance ohmique R_1 et R_2, comme coefficient de self indudtion L_1 et L_2. Pour l'ensemble, la résistance apparente R et la self-induction L sont données par

$$R = \frac{a}{a^2 + b^2}, \qquad 2\pi\omega L = \frac{b}{a^2 + b^2}$$

ou :

$$a = \frac{R_1}{R_1^2 + 4\pi^2\omega^2 L^2_1} + \frac{R_2}{R_2^2 + 4\pi^2\omega^2 L^2_2}$$

$$b = \frac{2\pi\omega L_1}{R^2_1 + 4\pi^2\omega^2 L^2_1} + \frac{2\pi\omega L_2}{R^2_2 + 4\pi^2\omega^2 L^2_2}$$

ce qui donne :

$$R = \frac{R_1 (R^2_2 + 4\pi^2\omega^2 L^2_2) + R_2 (R^2_1 + 4\pi^2\omega^2 L_1)}{(R_1 + R_2)^2 + 4\pi^2\omega^2 (L_1 + L_2)^2}$$

$$2\pi L = \frac{L_1 (R^2_2 + 4\pi^2\omega^2 L^2_2) + L_2 (R^2_1 + 4\pi^2\omega^2 L_1^2)}{(R_1 + R_2)^2 + 4\pi^2\omega^2 (L_1 + L_1)^2}$$

Dans le cas qui nous occupe, L_1 et R_2 sont très petits si on les néglige, le maximum de R est donné par la condition $R_1 = 2\pi\omega L_2$.

rage égale à $\frac{R}{2}$. Il n'y a par suite, à cet instant, que la moitié du courant qui passe par la bobine de résistance, ce qui permet de diminuer la section du fil.

On voit que le démarrage se poursuit automatiquement : l'appareillage se réduit à un interrupteur tripolaire à l'entrée du stator. Il est impossible d'avoir un raté de démarrage, comme cela arrive dans les systèmes où les résistances se règlent à la main, si on retire ces dernières trop vite du circuit; on n'a pas à craindre non plus qu'une fausse manœuvre fasse griller les rhéostats, et enfin le moteur prend sa vitesse dans le temps minimum.

La figure 2 montre l'application de ce dispositif à un moteur M à courants triphasés. Ce moteur est muni de trois bagues. A est l'interrupteur tripolaire pour le circuit d'alimentation, R_1, R_2, R_3, sont les résistances non inductives ; L_1, L_2, L_3, les bobines de self-induction. La figure suppose un montage en étoile, il est évident que le même dispositif convient dans le cas d'un montage en triangle.

Ajoutons que cet appareil a des dimensions fort restreintes et qu'on peut le placer dans l'induit lui-même, en supprimant les bagues.

Jacques GUILLAUME.

SUR LA RÉACTION D'INDUIT DES ALTERNATEURS

Les notes de M. Behrend, Rothert et Arnold, reproduites dans ce journal [1] montrent que les méthodes usitées pour le calcul de la chute de tension des alternateurs, et fondées uniquement sur la connaissance de la caractéristique à vide et de la courbe de court-circuit, sont insuffisantes dès que la saturation du fer est notable. M. Kapp, dans son ouvrage « Dynamomaschinen » indique le principe d'une méthode, développée dans les « Elektrotechnische Konstructionen » où il suppose connus et déterminables à priori deux éléments : les contre-ampères-tours, et ce qu'il appelle la self-induction des bobines induites ; toutefois les applications, sauf une, celle de l'alternateur Schwartzkopff, sont faites sur des machines peu saturées, et pour cette dernière, le calcul et l'expérience sont tout à fait discordants en ce qui concerne la valeur du courant de court-circuit. M. Kapp a néanmoins montré que *deux* éléments au moins doivent être adjoints à la caractérisque à vide pour déterminer la chute de tension. Si on les connaît, on connaît la courbe de court-circuit, et réciproquement, si on connaît cette courbe et l'un des deux éléments, on aura l'autre. Mais si les auteurs semblent d'accord sur la nécessité d'introduire un élément de plus, ils diffèrent sur la manière de l'introduire, et même sur sa définition ; M. Blondel dans une série d'articles (terminée en décembre 1899) propose l'emploi de deux coefficients spéciaux pour le courant déwatté, et le courant watté.

Dans le travail ci-après, on se propose de démontrer que l'examen de la caractéristique en courant déwatté, obtenue expérimentalement, permet de déterminer deux coefficients suffisants pour calculer la chute de tension sous un débit donné de phase quelconque, et incidemment on examinera la signification théorique de ces coefficients.

I. — Lorsqu'un alternateur débite un courant I, en retard ou en avance de 90° sur la force électromotrice, l'intensité est maximum lorsque l'axe d'une bobine induite coïncide

---

[1] *L'Éclairage Électrique*, t. XXII, p. 296 à 308, 24 février 1900.

avec l'axe d'un noyau inducteur ; de même sens que le courant inducteur i quand I est en avance, de sens contraire quand il est en retard. Calculer le flux Φ qui traverse la bobine à ce moment, c'est donc étudier le flux dans un circuit magnétique à faible entrefer portant deux enroulements, l'un parcouru par le courant i, l'autre par un courant $\pm I\sqrt{2}$; ce flux se décompose en deux : 1° une partie Φ_1 se ferme autour de la bobine induite sans passer dans l'inducteur, et est même à l'intérieur de la bobine, dans le cas du retard, de sens contraire au flux général, tandis que dans le cas de l'avance c'est à l'extérieur que cela a lieu ; le trajet dans l'air du faisceau qui constitue ce flux paraît assez grand pour que l'on admette à titre de première approximation que l'on a $\Phi_1 = KI$; 2° l'autre partie Φ_2, qui vient des pièces polaires, enserre un nombre d'ampères-tours $2(ni - NI\sqrt{2})$ [1], si n et N sont le nombre des spires des bobines induites et inductrices par pôle ; ce flux est bien étranglé dans la bobine induite d'autant plus que I est plus grand, mais cet étranglement n'est que local, et on peut admettre (ou du moins tenter cette hypothèse) que la réluctance de son circuit est indépendante de I, ou que Φ_2 est le même que si l'inducteur seul portait $(ni - NI\sqrt{2})$ ampères tours. Or le quotient du flux Φ par le quart de la période est la force électromotrice moyenne totale induite. Si l'on concède encore que le rapport de cette force électromotrice moyenne à la force électromotrice efficace n'est pas altéré sensiblement quand I varie, la force électromotrice efficace se trouve représentée par une expression $-\lambda I + f(i - \alpha I)$, λ et α étant deux coefficients constants pour une machine, et $f(i)$ étant la force électromotrice à vide de l'alternateur, puisque $E = f(i)$ quand $I = 0$.

Les choses sont un peu plus complexes dans le cas des alternateurs homopolaires, ou à fer tournant ; la force électromotrice moyenne est la différence entre le flux Φ' qui traverse la bobine quand elle est en face d'un pôle, et le flux Φ'' qui le traverse quand elle est entre deux pôles, divisée par la demi-période, soit

$$2 \cdot \frac{\Phi' - \Phi''}{T}.$$

Les ampères-tours qui déterminent les parties de Φ' et Φ'' communes aux systèmes inducteurs et induits sont $(ni - NI\sqrt{2})$, $(ni + NI\sqrt{2})$ mais les réluctances des deux circuits sont différentes ; pour Φ'', où le trajet dans l'air est important, on peut admettre que cette partie a une réluctance constante, et est proportionnelle à $ni + NI\sqrt{2}$, tandis que pour Φ' on doit considérer cette réluctance comme variable avec l'excitation, enfin tenant compte des flux, $-KI$ dans la première position, $+KI$ dans la seconde qui se ferment autour de la tobine induite, la force électromotrice moyenne se présente sous la forme

$$\frac{2}{T}\left[-2KI + F(ni - NI\sqrt{2}) + K_2(ni + NI\sqrt{2})\right]$$

On peut encore écrire

$$-2(K + K_2N\sqrt{2})I - K_2(ni - NI\sqrt{2}),$$

pour les premier et troisième termes, et il restera comme plus haut pour la force électromotrice une expression de la forme

$$-\lambda I + f(i - \alpha I) \text{ [1]}. \qquad (1)$$

[1] I sera désormais compté positivement dans le cas du retard : c'est I sin φ.

Dans les calculs ci-dessus, on suppose implicitement des enroulements à une encoche par phase : s'il en était autrement, on devrait tenir compte du nombre et de l'espacement de ces encoches, et même de la largeur des pièces polaires, si celles-ci ne sont pas, y compris la frange magnétique de leurs bords, entièrement embrassées par la bobine la plus étroite. On a voulu surtout définir le sens de α dont la valeur doit subir § 3 une correction importante dans certains cas au moins.

Si les alternateurs sont polyphasés, les raisonnements seront les mêmes, les coefficients λ et α prendront seulement d'autres valeurs.

L'expérience permet de vérifier si la force électromotrice totale est réellement de la forme (1). En effet supposons que l'on veuille construire la valeur de U, différence de potentiel aux bornes, pour un courant i (qui sera variable) et un I donné; est tellement voisin de 90° qu'on peut négliger l'influence de la résistance intérieure; on a donc à construire $U = -\lambda I + f(i - \alpha I)$ connaissant la courbe $E = f(i)$. Soit $i =$ OA (fig. 1); on portera $AB = \alpha I$, on mènera l'ordonnée BP, sa grandeur est $f(i - \alpha I)$, on prendra donc $PQ = \lambda I$, et $BQ = U$; menant QM parallèle à l'axe des i, le point M a pour abscisse i, pour ordonnée U; c'est un point de la caractéristique, pour le courant déwatté en retard P; si l'on pose

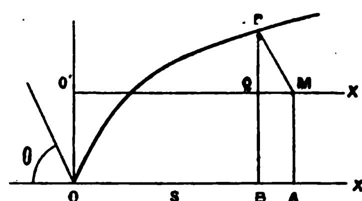


Fig. 1.

$$\lambda = h \sin \theta, \qquad \alpha = h \cos \theta, \qquad h^2 = \alpha^2 + \lambda^2,$$

on aura $MP = hI$, cette droite faisant l'angle θ en dessous de l'axe des i; donc la caractéristique pour $I = C^{te}$ s'obtiendra en déplaçant la caractéristique à circuit ouvert, parallèlement à elle-même, suivant une direction fixe, d'une longueur hI proportionnelle à l'intensité du courant déwatté; si celui-ci est en avance, le déplacement se fera dans la direction opposée.

Si l'on préfère construire une caractéristique à U constant on mène O'X' parallèle à OX à la distance U; à une excitation $i =$ O'M correspond un courant $I = \frac{1}{h}$ MP; donc si l'on déplace ainsi l'axe des i, la caractéristique E à circuit ouvert peut servir de caractéristique (I, i) en coordonnées obliques, puisque MB fait l'angle constant θ, et est égal à hI.

Reprenons les premières caractéristiques: chacune d'elles vient couper l'axe des X en un point pour lequel $U = 0$; la valeur de I correspondante est l'intensité en court-circuit, ainsi $AS = h I_{cc}$, si I_{cc} correspond à l'excitation OA; tant que le point S ne sort pas de la partie droite de la caractéristique AS et OA sont proportionnels, propriété bien connue; cette construction pour le court-circuit est du reste celle de Kapp.

Il suffit de jeter les yeux sur les courbes nos 3 et 6 de M. Behrend dans l'*Electrical World*, et sur la figure 2 dans l'*Elektrotechnische Zeitschrift*, pour voir que ce parallélisme est très approché, dans *toute* l'étendue de la caractéristique. Mais une comparaison plus précise et portant à la fois sur des courants en retard et des courants en avance ne sera pas inutile.

Dans l'article de l'*E. T. Z.*, M. Behrend [1] étudie deux machines et donne pour chacune d'elles un tableau contenant, pour du courant déwatté en retard, les tensions observées aux bornes (col. I), les résultats déduits des deux méthodes de calcul usitées (col. II) et (col. III); j'y ajoute (col. IV) les résultats donnés par la formule $U = f(i - \alpha I) - \lambda I$.

1re Machine. — *Inducteur hétéropolaire.*

$$I_{cc} = 10\, i, \qquad \alpha = 0{,}09 \qquad \lambda = 1{,}125 \qquad \frac{\alpha}{\lambda}\left[\frac{E_0}{I}\right]_0 = 9. \qquad (2)$$

2e Machine. — *Inducteur homopolaire.*

$$I_{cc} = 66{,}5\, i \qquad \alpha = 0{,}01 \qquad \lambda = 0{,}088 \qquad \frac{\alpha}{\lambda}\left[\frac{E}{I}\right]_0 = 2{,}4 \qquad (3)$$

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. XXII, p. 303, 24 février 1900.

i	I	I	II	III	IV
5,8	29,4	216	140,5	242	215
5,8	22,0	235	177	259	232
5,8	18,2	244	195	263	245
4,0	23	170	116	186	167
4,0	18,2	195	146	215	204
4,0	15,6	213	162	231	204
2,0	12,6	85,5	85	100	209
2,0	9,2	120	116	130	75 [1]
5,8	58	0	»	»	108 [1]

[1] Incertains à cause du magnétisme rémanant.

i	I	I	II	III	IV
35	375	260	252,2	292	261
30	360	250	240,3	282	253,3
21	360	220	202	249	229,3
14,6	360	168	153	179	166,3
11,5	360	117	114	131	120,3
34,8	500	248	235	287	247
30	435	240	229,5	178	245
21,2	500	199	177,5	233	208
14,4	488	135	123	147	134,5

Dans l'*Electrical World* (1), M. Behrend a donné (fig. 6) la caractéristique à 655 ampères d'un alternateur de 200 kilowatts à 180 volts, hétéropolaire ; le parallélisme de cette courbe et de la caractéristique à circuit ouvert est parfait, on transporte l'une des courbes sur l'autre en diminuant les ordonnées de 19 volts, et augmentant les abscisses de 6,3 ampères, les constantes de cet alternateur sont

$$I_{cc} = 75{,}5\,i, \qquad \alpha = 0{,}0096 \qquad \lambda = 0{,}029\,. \qquad \frac{\alpha}{\lambda}\left[\frac{E}{I}\right]_0 = 2{,}9 \tag{4}$$

De plus M. Behrend a donné les valeurs du courant i d'excitation nécessaire pour faire fonctionner cette machine comme moteur synchrone à vide en lui fournissant 655 ampères, sous des voltages variés, entre 86 et 192 volts ; ces excitations ont varié de 0 à 20 ampères, et la courbe (U, i) ainsi obtenue est encore parallèle à la caractéristique, à la même distance et de l'autre côté de sorte que son équation est $U - 19 = f(i + 6{,}3)$.

Enfin pour une quatrième machine homopolaire de 175 chevaux à 5200 volts, M. Behrend donne le tableau suivant, que je complète comme ci-dessus par l'addition d'une colonne IV.

$$I_{cc} = 3{,}12\,i, \qquad \alpha = 0{,}2 \qquad \lambda = 82. \qquad \frac{\alpha}{\lambda}\left[\frac{E}{I}\right]_0 = 1{,}8 \tag{5}$$

M. C.-F. Guilbert, bien connu des lecteurs de ce journal, a bien voulu me communiquer les chiffres relatifs aux essais d'un alternateur Farcot du secteur des Champs-Elysées ; de plus, à ma demande, il a varié les conditions de travail, comme intensité et phase du courant débité, dans des limites bien plus étendues qu'on n'a l'habitude de le faire. Par

(1) *Electrical World and Engineer*, 27 janvier et 3 février 1900.

i.	I	E_0 tension à vide.	I U obs.	II	IV
10,7	9.7	4 600	3 030	3 200	3 105
13,7	15,7	5 600	3 120	3 460	3 160
14,5	17,5	5 850	3 290	3 470	3 365
18	24.8	6 650	3 470	3 540	3 417
20	26	7 000	3 640	3 860	3 768
27,5	38	7 830	3 910	3 870	3 884

cette publication, jointe à la description détaillée déjà donnée de ces machines, M. Guilbert aura fourni aux techniciens qui s'occupent du fonctionnement des alternateurs un document de haute valeur.

Sur la figure 2 on a tracé la caractéristique à vide, et deux courbes identiques obtenues en diminuant (ou augmentant) les ordonnées de 610 volts, et augmentant (ou diminuant) les abscisses de 10,5 ampères ; les lignes ponctuées montrent dans quelle direction la caractéristique à vide est ainsi déplacée.

Les croix indiquent des essais avec un courant de 100 ampères, en retard ou en avance de 90° ; les points ronds des essais faits avec des courants divers, en retard ; il est aisé de vérifier que la distance du point 142 par exemple, à la caractéristique, comptée sur la droite ponctuée, est 1,42 fois celle de la courbe à 100 ampères à la même caractéristique, ce qui justifie l'hypothèse de la constance de λ.

Ces exemples variés, pris dans des machines de types divers, établissent la valeur pratique et expérimentale de la formule $U = f(i - \alpha I) - \lambda I$.

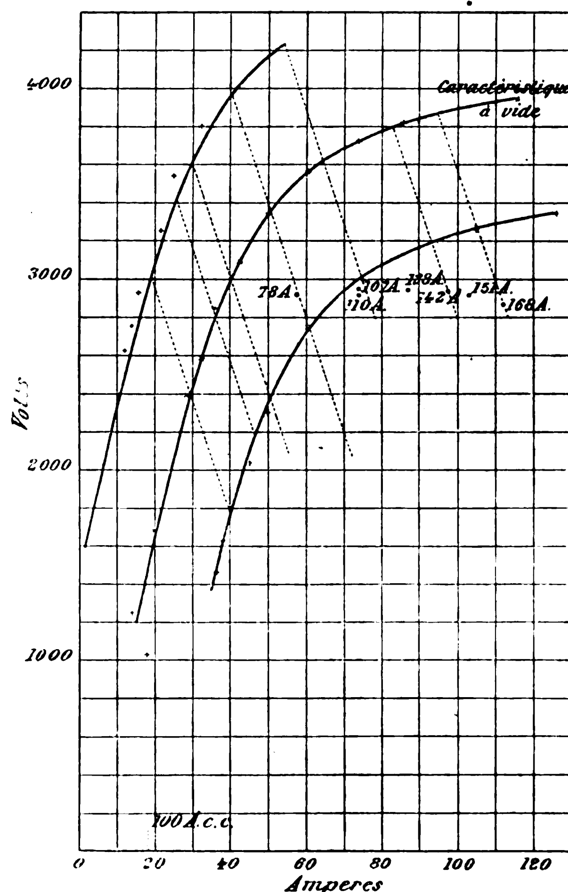


Fig. 2.

II. — Les considérations théoriques sur lesquelles elle est basée ne sont pas nouvelles. M. Kapp en a exposé la substance dans son ouvrage (*Dynamo-maschinen*, 2me éd. allemande, p. 329) ; il est nécessaire cependant de ne les appliquer qu'avec certaines précautions, sans quoi leurs conséquences paraîtront contraires à l'expérience. Voici en quoi consiste la difficulté : la formule s'applique encore dans le cas du fonctionnement en court-circuit, on a alors $U = 0$, $\lambda I = f(i - \alpha I)$; comme dans ce cas on est dans la partie droite de la caractéristique, $f(i - \alpha I)$ est le produit de $(i - \alpha I)$ par un coefficient, désigné dans les tableaux ci-dessus par $\left[\frac{E}{i}\right]_0$, d'où au court-circuit la relation

(2) $$i = I_{cc}\left(\alpha + \lambda\left[\frac{1}{E}\right]\right) = I_{cc}(\alpha + \beta).$$

Le rapport de i à I_{cc} étant donné par les essais, *si on suppose* α donné correctement par la théorie précédente, λ s'en déduit, et tout est connu dans la formule (1); le calcul ainsi conduit donne des résultats qui cessent d'être d'accord avec l'expérience, d'autant plus que l'excitation dépasse le coude de la caractéristique ; et je l'attribue à la non exactitude de la valeur de α. Si du reste on part uniquement de l'expérience pour déterminer α et λ, on trouve pour α une valeur plus petite que la valeur théorique.

1er *exemple*. Alternateur des Champs-Elysées ; l'expérience donne $\alpha = 0,105$; or chaque bobine porte 24 spires, et les bobines forment deux groupes réunis en quantité ; les pôles mobiles ont chacun 325 spires et forment quatre groupes en quantité : on devrait donc avoir

$$\alpha = \frac{4}{325} = \frac{24\sqrt{2}}{12} = 0,209 \qquad \text{ou} \qquad 0,209 \times \frac{4}{5} = 0,165$$

si l'on tient compte de la disposition des fils induits.

2e *exemple*. M. Wagner donne pour l'alternateur des Electricitats Werke de Zürich (1) (homopolaire, triphasé) $I_{cc} = 15\ i$, un point 2 000 volts, 450 ampères en courant déwatté $\cos\varphi = 0$; en comparant avec la caractéristique, on déduit $\alpha = 0,038$. Les ateliers d'Œrlikon ont eu l'obligeance de me donner les renseignements suivants, qui complètent ceux de M. Wagner. Les deux anneaux de l'induit ont chacun 180 bobines, soit 60 par phase, à 5 tours de fil ; les 60 bobines sont en série, mais les deux anneaux sont couplés en parallèle ; montage en étoile ; la bobine excitatrice a 200 tours de ruban de cuivre, d'où théoriquement

$$\alpha = \frac{1}{200} \cdot \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot \frac{3}{2}\sqrt{2} = 0,0525.$$

Donc on ne peut en général admettre pour α la valeur théorique.

III. — Les courants de Foucault sont généralement traités un peu rapidement par les auteurs ; on se contente de dire le plus souvent qu'ils équivalent à une augmentation de résistance, et dans le calcul des baisses de voltage lorsque $\cos\varphi = 1$, en particulier, on propose de doubler la résistance ohmique de l'alternateur, sans donner d'autre motif que la chaleur dégagée. Ce raisonnement est superficiel. Supposons un alternateur à induit fixe. La rotation du système inducteur développera dans toutes les parties fixes, à circuit ouvert, dans la culasse par exemple, des courants de Foucault, mais l'équivalent de ceux-ci est du travail fourni par le moteur ; ils affaiblissent le champ, abaissent la caractéristique à circuit ouvert, comme ils affaiblissent le champ à circuit fermé ; on peut avoir à s'en occuper au point de vue du rendement, mais non de la baisse de voltage. Lorsque l'alternateur débite, à ces courants s'ajoutent ceux venant de la variation du champ de l'induit, soit dans la carcasse de l'induit, soit dans les pièces polaires ; leur effet est comme dans un transformateur de diminuer l'impédance apparente de l'induit, malgré l'augmentation apparente de résistance, c'est là l'effet principal, comme le prouve le rôle d'écran magnétique de toute pièce massive fer ou cuivre. Loin de devoir être considérés comme wattés, ils sont au contraire presque complètement déwattés ; les ampères-tours de ces courants qui embrassent le flux commun, sont opposés, ou presque opposés à ceux de l'induit, leur sont proportionnels, de sorte que dans l'expression $ni - NI\sqrt{2}$, il convient de diminuer N, ou ce qui revient au même de prendre pour α une valeur inférieure à la valeur théorique.

(1) *Elektrotechnische Zeitschrift*, 22 fév. 1900, reproduit *Écl. Élect.*, t. XXIII, p. 304, 26 mai 1900.

Les courants de Foucault diminuent l'action démagnétisante de l'induit : résultat bien conforme à l'expérience.

Si on considère en particulier l'alternateur des Champs-Elysées, ses pièces polaires sont feuilletées, les circuits disposés de manière à rapprocher de la sinusoïde la courbe de la force électromotrice, mais ils sont munis de puissants amortisseurs Leblanc, dont la section se prête au passage de forts courants sans échauffement sensible ; il résulte de la théorie de ces amortisseurs, telle qu'elle a été exposée par leur auteur, que les ampères-tours des courants qui y circulent seraient équivalents à la moitié de ceux des bobines induites ; de sorte que N, et par suite α devraient être réduits de moitié si le transformateur formé par les amortisseurs était parfait ; il est remarquable que la valeur trouvée expérimentalement pour α soit à peine supérieure à la moitié de la valeur théorique ; cela autorise à penser que dans les alternateurs polyphasés où l'on aura pris des précautions suffisantes, on pourra partir de la valeur théorique de α dans les calculs de baisse de voltage, et se contenter de la courbe de court-circuit pour déterminer λ ; quelques expériences, en faisant débiter le plus fort courant possible en retard de 80°, sur des types variés de machines suffiraient pour résoudre cette question.

IV. — Une fois la signification de λ et de α précisés, le procédé qui paraît le plus rationnel pour calculer l'excitation nécessaire pour débiter I avec un $\cos\varphi$ déterminé est la suivante : Porter à l'extrémité de U (fig. 3) des droites R I, et λ I, dans les directions φ, et $-\varphi - 90°$; on porte sur OE, une longueur OF $= i$, excitation qui, sur la caractéristique, correspond à OE, puis F G parallèle à λ I, mais égal à α I ; O G est l'excitation cherchée d'où l'on peut, sur la caractéristique, déduire E et la baisse de voltage.

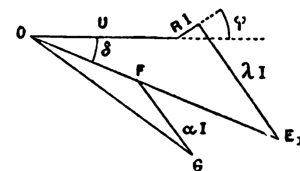


Fig. 3.

Pour montrer que ce procédé est suffisamment approché on va l'appliquer à l'alternateur d'Œrlikon, et à celui des Champs-Elysées.

Alternateur d'Œrlikon [1]. On a

$$i = 0{,}0667\,\mathrm{I}, \qquad \alpha = 0{,}038 \qquad \text{d'où} \qquad \lambda\left(\frac{\mathrm{E}}{\mathrm{I}}\right)_0 = 0{,}0287, \qquad \lambda = 1{,}67.$$

1). On demande l'excitation nécessaire pour

$$\mathrm{U} = 2\,000\ \mathrm{V}, \quad \mathrm{I} = 340, \quad \cos\varphi = 0{,}8.$$

On a

$$\lambda\mathrm{I}\sin\varphi = 340 \qquad \mathrm{RI}\cos\varphi = 18 \qquad \lambda\mathrm{I}\cos\varphi = 453 \qquad \mathrm{RI}\sin\varphi = 13$$

$$\mathrm{E}_1^2 = \overline{2\,358}^2 + \overline{440}^2 \qquad \mathrm{E}_1 = 2\,397 \qquad i_1 = 57{,}5 \qquad \delta = 10^\circ{,}5 \qquad \varphi = 37^\circ$$

$$\alpha\mathrm{I} = 12{,}97, \quad \alpha\mathrm{I}\cos 42^\circ{,}5 = 9{,}5 \quad \alpha\mathrm{I}\sin 42^\circ{,}5 = 7{,}9 \quad i = 68, \text{ au lieu de } 65 \text{ trouvé.}$$

2). On demande l'excitation nécessaire pour

$$\mathrm{U} = 2\,000\ \mathrm{V}, \quad \mathrm{I} = 280 \quad \cos\varphi = 1.$$

On a

$$\mathrm{E}_1^2 = (\mathrm{U} + \mathrm{RI})^2 + \lambda^2\mathrm{I}^2 = \overline{2\,019}^2 + \overline{467}^2 = \overline{2\,079}^2 \qquad i' = 43 \qquad \delta = 13^\circ$$

$$\alpha\mathrm{I} = 10{,}64 \quad \alpha\mathrm{I}\sin\delta = 2{,}39 \quad \alpha\mathrm{I}\cos\delta = 10{,}3 \quad i_0 = 46{,}5 \text{ au lieu de } 46 \text{ trouvé.}$$

[1] Wagner *E.T.Z.*, 22 février 1900, reproduit *Écl. Électrique*, t. XXIII, p. 306.

Alternateur des Champs-Elysées. Pour $\cos\varphi = 1$, (R = 0,43).

VOLTS AUX BORNES (ramenés à 60 tours).	DÉBIT	EXCITATION OBSERVÉE	EXCITATION CALCULÉE
2 885	59	38,3	39,6
2 960	68	41,5	41,8
2 940	79	42,0	42,5
2 930	98	43,9	44,1
2 960	112	46,2	46,5
2 945	132	48,5	48,9
2 935	164	53,5	53,5
2 960	175	56,0	55,8

Ces calculs peuvent être très notablement simplifiés dès que $\cos\varphi$ est inférieur à 0,6; les termes en $\sin\varphi$ jouent alors un rôle tellement prépondérant qu'on peut négliger les autres, et opérer comme en courant déwatté. à la condition de remplacer I par I $\sin\varphi$, en prenant la formule

$$U = f(i - \alpha I \sin\varphi) = \lambda I \sin\varphi.$$

Exemple. M. Guilbert, aux bornes, sur un réseau dont le $\cos\varphi = 0,5$, ou $\sin\varphi = 0,866$, a trouvé des baisses de voltage de 735 volts, 790 volts, pour des débits de 130 ampères, 153 ampères, et des excitations de 85 et 103 ampères.

On a

$$\lambda \sin\varphi = 5,2, \qquad \alpha \sin\varphi = 0,091.$$

et sur la courbe à circuit ouvert, on lit

$$f(85 - 0,09 \times 130) = f(73,2) = 3\,720, \quad f(103 - 0,09.153) = f(89,1) = 3\,830;$$

on en déduit pour U

$$3\,720 - 5,2.\,130 = 3\,040, \qquad 3\,830 - 765 = 3\,065.$$

tandis que la tension relevée aux bornes a été de 3105 dans les deux cas.

Il est clair que cette simplification ne s'applique qu'aux valeurs de I assez éloignées de la valeur du court-circuit, car si l'on prenait cette règle au pied de la lettre, elle donnerait pour l'excitation en court-circuit la valeur de i correspondant à I $\sin\varphi$, au lieu de la valeur correspondant à I.

L'emploi de ces procédés de calcul dans le cas de $\cos\varphi = 1$, malgré la vérification offerte par la machine d'Œrlikon, est toutefois douteuse; en effet, pour de faibles débits, le quotient de la baisse de voltage E — U par l'intensité devrait être la résistance R, et les courbes publiées montrent en général qu'il n'en est pas ainsi, et que la résistance apparente ainsi calculée est notablement plus forte que R. On a donc proposé d'introduire dans les calculs non la résistance ohmique R mais une résistance R′, et à titre d'approximation de prendre R′ deux fois plus grand que R; ce rapport est purement arbitraire, rien ne le justifie. Si on veut introduire l'effet des courants de Foucault, on ne comprend pas quel rapport ils peuvent avoir avec la résistance de l'induit; il serait plus rationnel de les introduire comme suit; si ces courants ont une composante notable à 90° sur les courants I qui les déterminent, cela veut dire que α doit être diminué, et que le terme α I correspond à des courants dont l'ensemble est inférieur à la valeur théorique, ce qui remplacerait la construction du

triangle OFG par la suivante (fig. 4), où $F'G_1$ serait la valeur théorique de αI, $G_1 G'$ le courant équivalent aux courants de Foucault, et OG' la valeur du courant i d'excitation. Il semble résulter des exemples ci-dessus que cette correction ne présente pas d'intérêt pratique. Une très faible erreur sur cos φ dans le voisinage de l'unité a d'ailleurs une importance relative considérable.

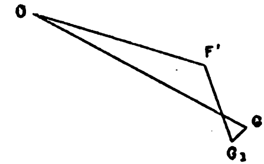


Fig. 4.

V. — Pour terminer, je rappellerai ci-dessous les valeurs de α et de β pour les machines dont il a été parlé, en rappelant que $i = (\alpha + \beta) I_{cc}$ aux faibles intensités ; pour montrer comment le courant d'excitation semble la somme de deux parties dont la seconde β résulte uniquement de la dispersion.

	α	β	
Behrend. . . .	0,09	0,01	pôles alternés, entrefer 1 mm.
» . . .	0,0106	0,0044	fer tournant.
» . . .	0,0096	0,0033	pôles alternés très larges.
» . . .	0,2	0,142	fer tournant.
Guilbert. . . .	0,105	0,075	pôles alternés, entrefer 7 mm.
Wagner. . . .	0,038	0,029	fer tournant, entrefer 5,5 mm.

Leur rapport est celui de E_s ou force électromotrice de self-induction (β) à E_g force électromotrice due aux contre-ampères-tours (α), dans les notations de M. Kapp ; sauf pour la première machine, il est de même ordre que pour les alternateurs étudiés, dans les *Elektromechanischen Konstructionen ;* mais les valeurs de α sont notablement plus fortes que celles déduites des formules indiquées dans cet ouvrage, pour les deux dernières machines, les seules pour lesquelles les éléments de calcul soient connus.

Les conclusions pratiques de cette étude sont faciles à énoncer. La courbe en court-circuit ne permet de calculer à priori l'excitation à fournir à un alternateur que si celui-ci est peu saturé ; sinon deux coefficients sont nécessaires à connaître : l'un est le rapport d'équivalence des ampères-tours induits et inducteurs, l'autre un coefficient dépendant des fuites magnétiques ; dès que les inducteurs sont saturés, le rôle du second devient prédominant et il détermine pour de légères augmentations de débit, des augmentations considérables de l'excitation ; c'est donc sur ce coefficient qu'on doit chercher à agir. Il croît avec l'entrefer, avec le degré de fermeture des encoches, avec leur profondeur ; il est d'autant plus grand, à égal nombre d'ampères-tours induits, que le nombre des encoches par pôle est plus réduit ; c'est ce coefficient, bien plus que le rapport d'équivalence, qui limite le débit qu'on peut demander à la machine sans excitation exagérée.

A. Potier.

QUELQUES IDÉES NOUVELLES
SUR LE MÉCANISME DE L'ÉLECTROLYSE
PAR LES COURANTS DE RETOUR [1]

On sait quels phénomènes inattendus sont venus compliquer à ses débuts la traction électrique par fil aérien. Conduites d'eau perforées, conduites de gaz anéanties, infrastruc-

[1] Communication faite à la Société internationale des Electriciens le 6 juin 1900.

ture des grandes constructions métalliques compromise, tel fut le bilan des premières manifestations de l'électrolyse provoquée dans les profondeurs du sol par les courants de retour. L'avenir put apparaître sous de sombres couleurs aux partisans de la traction électrique, et les systèmes à retour par la terre, si favorables à l'économie de ce mode de traction, menacèrent de sombrer sous le discrédit.

On ne tarda pas à s'apercevoir, cependant, que fort heureusement les craintes du début avaient été exagérées, et que par un meilleur établissement des voies le danger pouvait être atténué dans une forte mesure. Effectivement, en dépit des prédictions de la première heure, les installations de tramways électriques, sous la poussée des besoins modernes, purent prendre, sans trop d'inconvénients, cet essor remarquable qui restera comme l'une des caractéristiques de notre époque.

Toutefois, malgré des expériences nombreuses effectuées sur les réseaux de l'un et de l'autre continent, les idées professées aujourd'hui sur le mécanisme de la diffusion des courants dans le sol et sur les actions qu'ils entraînent ne sont pas encore des plus nettes. Les progrès de nos connaissances ont été lents depuis les remarquables travaux de Farnham (1894), et les remèdes efficaces sont restés rares. La seule règle qui ressorte d'une façon à peu près constante des rapports multiples autant que contradictoires présentés sur la question peut s'énoncer en disant que pour les ingénieurs des compagnies de gaz ou d'eau, les courants de retour des tramways électriques sont cause des pires méfaits, tandis que la parfaite innocuité de ces mêmes courants apparaît avec limpidité dans les rapports des ingénieurs des compagnies de traction.

Attaché à la Compagnie française Thomson-Houston, je ne prétends pas venir faire à cette règle si naturelle une exception inattendue. Sa simple application permettra, sans plus tarder, de préjuger des conclusions auxquelles j'ai l'intention d'aboutir ; mais j'espère qu'on verra de quoi justifier largement ces conclusions, d'abord dans le résumé des essais que j'ai entrepris dans le cours des deux dernières années sur les divers réseaux installés par les soins de notre Compagnie, ensuite et surtout dans cette simple constatation que pendant ces deux années il ne m'a pas été donné de constater sur ces réseaux un seul cas de corrosion électrolytique des conduites nettement défini.

Si ces essais, d'ailleurs, m'ont amené à une interprétation du mécanisme des actions électrolytiques quelque peu différente de celle qui a cours aujourd'hui, il ne s'ensuit pas, bien loin de là, que j'aie la prétention de vous présenter un travail entièrement original. Sur une question aussi travaillée que celle-là, on trouvera certainement de nombreux points communs entre mes essais et ceux de plusieurs des ingénieurs qu'elle a préoccupés, Kalmann, à Berlin, Parshall et Fleming, en Angleterre, Herrick, aux États-Unis, pour ne citer que ceux-là.

Je dois aussi ajouter que j'ai été beaucoup aidé dans l'explication de certains faits par les idées émises dans un premier rapport élaboré en 1895 en collaboration avec M. Meylan sur la demande de la Compagnie Thomson-Houston.

·

Lorsque le courant des voitures d'un réseau revient au feeder négatif, il suit naturellement de préférence le chemin le meilleur, c'est-à-dire la voie supposée bien jointée. Mais le sol dans lequel sont encastrés les rails, lui aussi, est perméable au courant dans une certaine mesure — variable d'ailleurs avec son état d'humidité — ; en vertu de ce fait, une partie du courant s'écoule dans le sol vers le terminus (fig. 1) pour rentrer dans la voie, au voisinage du feeder négatif.

De ce courant de terre, de ce *courant vagabond* pour employer l'expression caractéris-

tique des Allemands, une partie, — la presque totalité croit-on [1] — ne sort des rails que parce qu'elle y est attirée, en quelque sorte, par les conduites métalliques d'eau et de gaz enfouies dans le sol à proximité de la voie (fig. 2) : elle entre dans ces conduites vers le ter-



Fig. 1. — Diffusion des courants dans le sol.

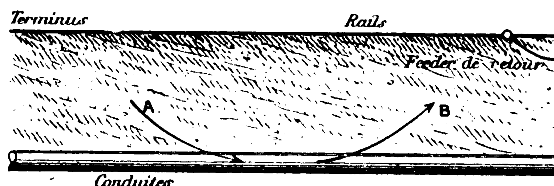


Fig. 2. — Absorption supposée des courants par les conduits.

minus pour en ressortir vers le ou les feeders de retour. Or, on admet actuellement que les courants électriques circulent dans le sol à la faveur d'un mécanisme exclusivement électrochimique, en électrolysant les sels qui y sont contenus, chlorure de sodium par exemple : à l'entrée du courant dans les conduites en A, comme à sa sortie en B, ces sels sont donc électrolysés et du chlore, par exemple, est mis en liberté. En A, ce chlore allant comme on sait à l'encontre du courant qui lui a donné naissance, vient ronger les rails, ce qui ne regarde que la compagnie exploitante, et laisse indemnes les conduites, tandis que l'inverse se produit en B. La région B, voisine du feeder de retour et caractérisée par ce fait que les conduites y sont positives par rapport aux rails, est en conséquence la région *dangereuse* pour les conduites [2].

Indépendamment de ce mode d'attaque, un autre danger, généralement moindre, menace les conduites en dehors même de la région dangereuse : celles-ci n'offrent pas une continuité métallique parfaite, mais présentent à chaque joint un accroissement local de résistance qui peut forcer une partie du courant cheminant dans la conduite vers le feeder de retour à sauter par-dessus le joint à travers la terre et à attaquer le métal à son point de sortie (fig. 3).

En résumé, on considère donc actuellement, d'une part, que les courants vagabonds ne quittent les rails à peu près que parce qu'ils sont immédiatement drainés par les conduites souterraines, d'autre part que ces courants sont presque intégralement dangereux, chaque ampère-heure quittant une conduite à travers le sol se traduisant par l'enlèvement de 3,86 gr de métal dans le cas du plomb, de 1,04 gr dans celui du fer.

On conçoit dès lors l'intérêt qu'on a attaché à diminuer ces courants vagabonds, et pour cela à améliorer le chemin constitué par les rails, en augmentant leur poids et soignant leurs connexions. On a même cru qu'on pourrait arriver à supprimer à peu près les courants dans les conduites et leurs dangers en poussant cette amélioration jusqu'à abaisser au-dessous de 5 volts la chute de voltage sur les rails : car ces 5 volts, ayant à vaincre deux fois la force contre-électromotrice du sol, plus la résistance des conduites, ne pourraient forcer dans celles-ci que des courants très faibles.

---

(1) Voir A. Blondel et Paul Dubois, *La Traction Électrique*, t. I, p. 599.

(2) D'où l'intérêt, signalé par Farnham, du relevé de la *carte électrique* d'un réseau ou relevé des différences de potentiel rails-tuyaux sur l'ensemble du réseau, cette carte électrique étant caractérisée par une région avoisinant les feeders de retour, où les tuyaux sont nettement positifs et qui constitue la région *positive* ou région dangereuse, une zone *neutre* entourant la première et où les différences de potentiel rails-tuyaux sont faibles et changent continuellement de sens par suite des variations du courant de service, enfin une zone *négative* allant de la zone neutre aux terminus et dans laquelle les tuyaux sont généralement, mais avec des inversions fréquentes cependant, négatifs par rapport aux rails.

Telle est l'origine de l'ancien règlement administratif des 5 volts de chute totale, et tel est le rôle prépondérant qu'on attribue à la *polarisation* dans la préservation des conduites, qui effectivement, comme j'ai déjà eu à le faire remarquer, restent indemnes lorsque ce règlement est observé.

Et pourtant, malgré cette apparente vérification, les choses ne se passent pas du tout

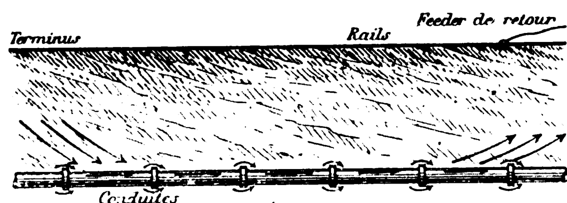


Fig. 3. — Attaque des conduites aux joints.

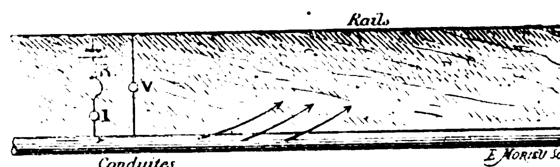


Fig. 4.

dans la réalité conformément au programme précédent. Une expérience bien simple va nous en convaincre et nous faire soupçonner deux contradictions importantes entre les idées précédentes et la réalité.

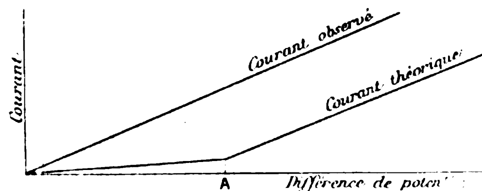


Fig. 5. — Différence entre la théorie et la pratique.

Prenons une batterie de deux ou trois accumulateurs (fig. 4) ; relions son pôle négatif, après l'arrêt du service, aux rails d'un réseau, et l'autre pôle, à travers un rhéostat variable R et un ampèremètre I, avec une canalisation de gaz ou d'eau voisine. A l'aide du rhéostat variable R, nous pouvons soumettre l'ensemble rails-tuyaux à une différence de potentiel croissante que le voltmètre V permet de mesurer, et en vertu de laquelle un certain courant, mesuré par l'ampèremètre I, va circuler à travers la terre entre conduite et rails.

Si la terre se comportait bien comme un électrolyte (à sel de métal différent de celui des électrodes, puisque ce sel est en général un sel de sodium, et que les électrodes sont en fer ou en plomb), le courant devrait rester très faible jusqu'au moment A, correspondant au voisinage de 1 volt, où la différence de potentiel appliquée dépasse la force contre-électromotrice du sol; à partir de ce moment seulement, le courant devrait croître notablement [1] (fig. 5). *En réalité*, le courant devient de suite très intense, en croissant à fort peu près proportionnellement à la différence de potentiel, c'est-à-dire que tout au moins jusqu'à 2 volts, la simple loi de Ohm est applicable au circuit [2]. Dans les divers cas, j'ai

(1) Ci-dessous (fig. *a*) les résultats que j'ai obtenus dans des essais de laboratoire effectués en électrolysant une solution de chlorure de sodium à 10 p. 100 à l'aide d'électrodes identiques. On voit que l'allure du courant en fonction de la différence de potentiel est essentiellement différente de celle des courbes de la note ci-après. On voit en outre qu'il passe toujours un certain courant, si faible que soit le voltage ; ce fait et quelques expériences *qualitatives* aidant ont été l'origine de la théorie de Jackson, d'après laquelle la crainte des corrosions électrolytiques doit subsister même si les différences de potentiel en jeu sont de l'ordre des centièmes de volt. Au point de vue quantitatif, cette conclusion est absolument erronée, comme le démontrent les essais ici rapportés.

(2) Voici quelques-uns des résultats obtenus :

Bastille-Charenton : entre conduite d'alimentation d'eau de l'usine et rails.

e appliqué en volts.	I en ampères.	*e* appliqué en volts.	I en ampères.
0,20	0,72	1,56	5,20
0,28	1,00	3,80	12,50
0,59	2,00	5,00	17,00
0,87	3,00	8,00	30,00

assez prolongé l'essai, vingt minutes quelquefois, sans affaiblissement notable du courant, pour qu'on ne puisse confondre avec un phénomène de charge des tuyaux sous l'influence de la capacité de polarisation.

Résultats traduits par courbe (fig. *b*) qui s'incurve légèrement vers le haut, ce qui tend à indiquer une action électrolytique appréciable. Les autres courbes affecteraient sans doute une allure analogue si les différences de potentiel avaient pu être poussées assez loin.

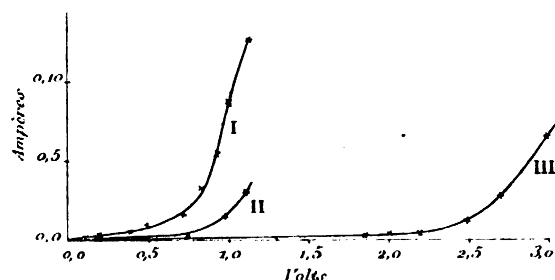


Fig. *a*. — Intensité en fonction de la différence de potentiel appliquée à deux électrodes identiques plongées dans l'eau salée.
Courbe I : 2 lames fer. — Courbe II : 2 lames plomb. Courbe III : 2 lames charbon.

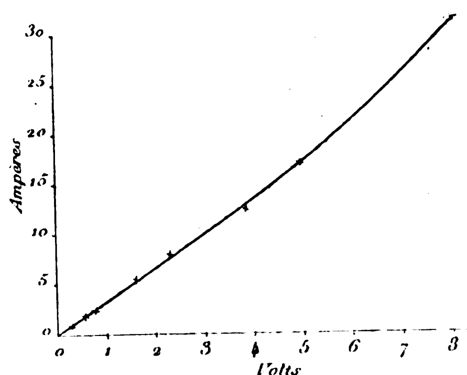


Fig. *b*. — Bastille-Charenton. Courant entre conduite d'eau et rails.

Amiens : entre conduite d'eau Esplanade de Noyon et rails.

e appliqué en volts.	I en ampères.	Observations :
0,2	0,1	différence de potentiel initiale
0,45	0,15	de 0,04 volt, eau négative
0,60	0,20	
0,90	0,29	
1,30	0,40	

L'intensité croît presque exactement comme une droite ne passant pas tout à fait par l'origine, comme l'indique la figure *c*.

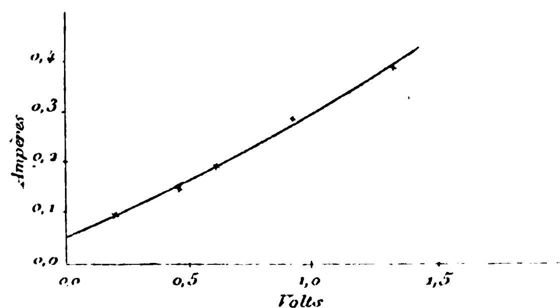


Fig. *c*. — Amiens. Courant entre eau et rails.

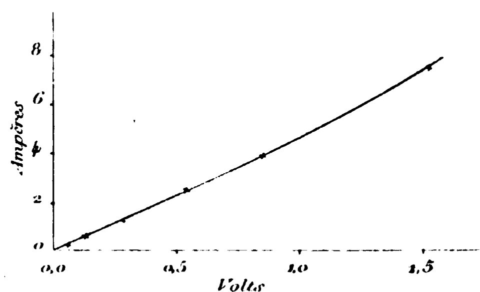


Fig. *d*. — Amiens. Courant entre gaz et rails.

Amiens : entre conduite de gaz et rails.

e.	I.	e.	I.
0,05	0,4	1,10	5
0,11	0,7	1,25	5,5
0,52	2,5	1,52	7,3
0,95	4,4		

Donc, première anomalie, il semble qu'*au lieu de se comporter à la manière d'un électrolyte, le sol se comporte comme un conducteur métallique*, de sorte que la polarisation n'y doit jouer qu'un rôle négligeable.

. Résultats traduits par courbe (fig. *d*). On voit que la canalisation de gaz est beaucoup plus *perméable* que celle d'eau.

Rouen : entre canalisation eau de source de l'usine et rails.

— e.	I.	Observations.
0,12	2.8	différence de potentiel initiale
0,20	3,8	de 0,05 volt, eau négative
0,39	7,0	
0,65	10.8	
0,93	15,0	

Droite ne passant pas tout à fait par l'origine (fig. *e*) en raison de la différence de potentiel initiale.

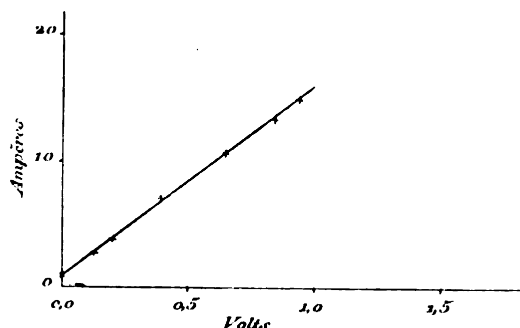


Fig. *e*. — Rouen. Entre eau de source et rails.

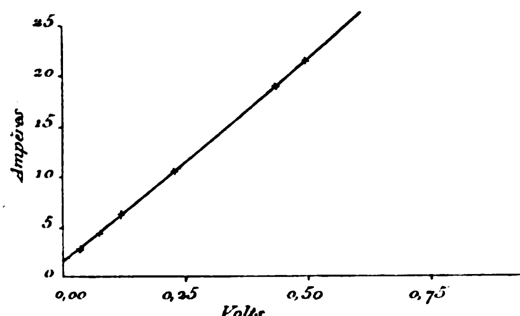


Fig. *f*. — Rouen. Entre gaz et rails.

Rouen : entre conduite de gaz et rails à l'usine.

e.	I.	Observations.
— 0,03	+ 0,7	différence de potentiel initiale
+ 0,03	2,8	de 0,05 volt, gaz négatif.
+ 0,07	4,5	
+ 0,11	6,5	
+ 0,22	10,8	
0,50	22,0	

Ici encore (fig. *f*) sensiblement une droite. On remarquera l'intensité exceptionnelle des courants sous de faibles différences de potentiel.

Havre : entre conduite de gaz et rails vers l'usine.

e.	I.
0,20	4
0,40	7
0,56	10
0,96	18
2,08	42

Droite légèrement incurvée vers le haut (fig. *g*).

Havre : entre conduite d'eau et rails.

e.	I.
0,36	0,5
0,80	1
1,20	2
1,76	3
2,40	5

Courbure notable vers le haut (fig. *h*).

En résumé ces essais mettent en évidence trois choses intéressantes :

Répétons maintenant le même essai au voisinage du feeder négatif, toujours après l'arrêt du service. Maintenons la différence de potentiel rails-tuyaux créée par la batterie à une valeur égale à la différence de potentiel qui existe en service : nous constatons qu'il nous faut pour cela débiter un courant *très intense*, 28 ampères au Havre, entre gaz et rails, 23 ampères à Rouen, entre rails et eau, etc.

Or, un courant si intense est inquiétant : il est inquiétant parce que, ayant pour effet de maintenir entre rails et conduites une différence de potentiel égale à celle qu'y maintient en service le courant vagabond qui circule dans la conduite, il semble donner approximativement la mesure de celui-ci. Je dis approximativement, car dans l'essai en question, le courant rentre aux rails plus ou moins sur toute la longueur de la conduite, tandis que le courant vagabond circulant en service dans la conduite ne peut rentrer aux rails que dans la région dangereuse, et doit donc être notablement plus faible, tout en restant cependant du même ordre.

Et ceci n'a pas manqué de m'inquiéter beaucoup lors de mes premiers essais, car des courants aussi intenses circulant dans les conduites devaient ronger celles-ci dans un délai très court [1].

J'ai donc été amené à ne plus me contenter de cette mesure indirecte, et à mesurer *directement* le courant circulant en service dans ces conduites à l'aide d'une méthode d'ail-

1° Proportionnalité presque exacte des courants entre rails et conduites aux différences de potentiel agissantes ;
2° Grandeur inattendue de ces courants que peut expliquer l'énorme surface des électrodes.
3° Perméabilité plus grande des conduites de gaz, ce qui tient aux joints meilleurs de ces conduites.

Des essais d'un autre genre, effectués à Bastille-Charenton pendant la nuit en lançant sur les voies des courants constants, m'ont également montré que les courants qui circulent dans les conduites d'un réseau en activité, de même que les courants vagabonds totaux, sont très sensiblement proportionnels aux chutes sur rails.

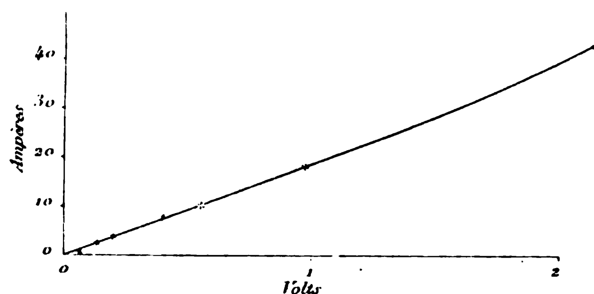


Fig. g. — Hâvre. Entre gaz et rails.

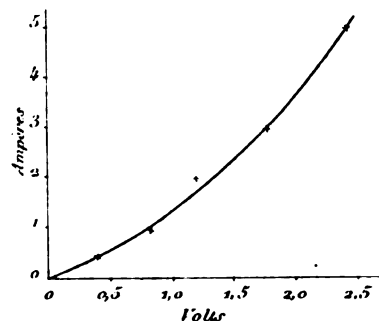


Fig. h. — Hâvre. Entre eau et rails

[1] En présence de ces deux résultats inattendus, conduction pour ainsi dire métallique du sol, courants très intenses, je me suis naturellement tout d'abord inquiété de savoir s'ils ne proviendraient pas tous deux d'un court-circuit accidentel rails-tuyaux existant à une distance plus ou moins grande du point d'essai. Mais la chose est bien invraisemblable d'une telle circonstance se reproduisant dans tous les cas essayés : d'autre part, la mauvaise conductibilité habituelle des conduites, jointe à la grandeur des courants constatés, nécessiterait que le court-circuit fût tout près du point d'essai, c'est-à-dire du feeder négatif et il serait dès lors révélé par la carte électrique en service ; enfin un essai fait au Havre pendant l'essai (fig. *h*), confirme la régularité de celui-ci. Cet essai a consisté, pendant l'application du courant de 18 ampères, à mesurer les différences de potentiel gaz-rails à des distances graduellement croissantes ; les résultats en sont traduits par la courbe (fig. *i*) qui montre que les différences de potentiel baissent très régulièrement et très vite *des deux côtés* du point d'essai.

Un autre essai qui montre que la polarisation rails-conduites ne doit jouer en pratique qu'un rôle négligeable, consiste à installer un voltmètre sensible entre rails et conduites dans la région dangereuse pendant le service, et à arrêter brusquement le service en faisant couper le courant à l'usine ; instantanément l'aiguille du voltmètre tombe à zéro.

leurs très simple[1], et j'y ai toujours trouvé des courants *dix*, *vingt*, *cinquante fois plus faibles* que ceux prévus par la mesure précédente.

---

[1] La méthode que j'ai appliquée a déjà été employée, pour la première fois à ma connaissance, dans les recherches que nous avons effectuées en 1895 avec M. Meylan pour le compte de la Compagnie Thomson-Houston. Le principe de la méthode consiste à mesurer la différence de potentiel e_1 (fig. *j*) existant entre deux points voi-

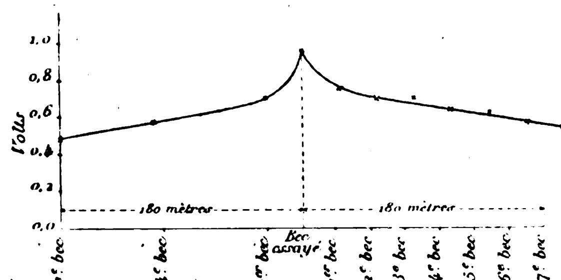


Fig. *i*. — Hâvre-gaz. Répartition du potentiel sur la conduite.

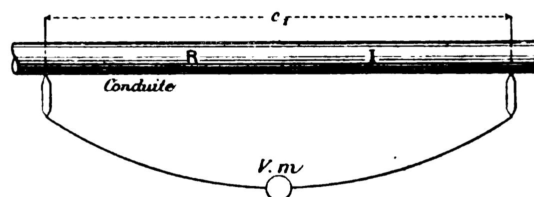


Fig. *j*. — Mesure du courant dans les conduites.

sins de la conduite (2 becs de gaz A et B par exemple), puis à dériver au moyen d'un câble de faible résistance (fig. *k*) comportant un ampèremètre une partie de ce courant et à constater la nouvelle différence de potentiel e_2 existant entre A et B; soit $e_2 < e_1$ la seconde lecture au voltmètre et *i* le courant dérivé, on a évidemment en supposant le régime général dans la conduite non troublé par l'adjonction du câble :

$$\frac{I}{i} = \frac{e_1}{e_1 - e_2} \qquad \text{d'où} \qquad I = \frac{ie_1}{e_1 - e_2}.$$

Cette méthode paraît exiger deux lectures simultanées, ce qui est peu commode étant données les variations continuelles du courant. On peut s'arranger cependant de manière à ne faire les lectures que successivement; on

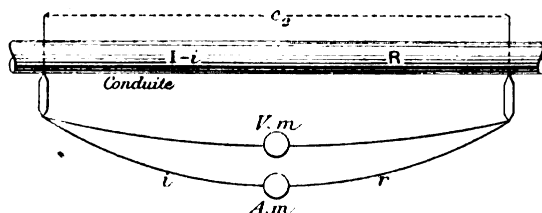


Fig. *k*. — Mesure des courants dans les conduites.

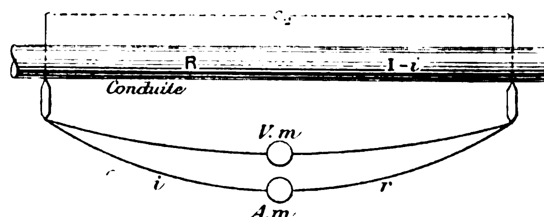


Fig. *l*. — Cause d'erreur de la méthode de mesure du courant dans les conduites.

remarquera pour cela que quelle que soit l'intensité à l'instant considéré on aura toujours $e_2 = Ke_1$, K étant une constante pour la station choisie, le facteur de réduction K ne dépendant que du rapport des conductibilités de la conduite et du câble de dérivation; d'où

$$\frac{e_1}{e_1 - e_2} = \frac{e_1}{e_1(1 - K)} = \frac{1}{1 - K} = \text{constante}.$$

On pourra donc déterminer ce rapport à loisir en faisant des contacts successifs du câble de dérivation, puis on notera ensuite l'intensité maxima donnée par l'ampèremètre. La formule indiquera alors le courant maximum traversant la conduite.

Exactitude de la méthode. — La méthode n'est exacte qu'autant que e_1 et e_2 représentent vraiment les différences de potentiel sur la conduite entre les deux prises de dérivations. Or on ne peut généralement se placer sur la conduite, mais sur des branchements, bouches d'eau ou becs de gaz. D'où des résistances de contact inconnues ρ_1, ρ_2, que nous supposerons réunies en une seule ρ, la lecture de e_1 sera exacte si ρ est faible devant la résistance du voltmètre. Mais en ce qui concerne e_2 on mesurera $e_2 = R(I - i) - \rho i$ au lieu que la quantité qui devrait être mesurée est $R(I - i)$ (fig. *l*).

Que signifie cette contradiction? Il n'est pas difficile de nous en rendre compte. Dans la mesure du courant dans la conduite en service comme dans celle du courant emprunté à la batterie, ces courants circulent bien sous l'effet d'une même différence de potentiel; mais il existe pourtant entre les deux essais cette dissemblance essentielle qu'en service cette différence est maintenue par la rentrée aux rails non seulement du courant sorti de la conduite, mais encore des courants purement terrestres; tandis que dans l'essai après le service, cette différence de potentiel ne peut être maintenue que par le courant d'essai, seul existant. Et le courant en service est très faible devant le courant d'essai, il faut bien en conclure que, en service,

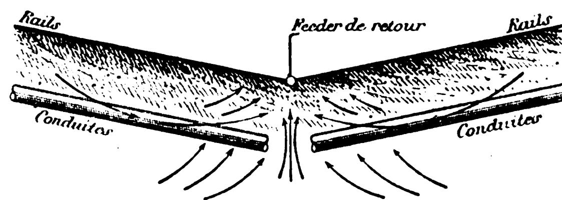


Fig. 6. — Concentration des filets de courants au voisinage du feeder de retour.

L'erreur relative sera donc $m = \frac{\rho i}{R(I-i)}$. Or $\frac{i}{I-i} = \frac{R}{r+\rho}$, d'où $(I-i) = i\,\frac{(r+\rho)}{R}$, et en remplaçant dans m, $m = \frac{\rho}{r+\rho}$.

Pour que l'erreur soit petite, il faut donc ρ petit devant r.

Mais nous ne le connaissons pas et nous n'avons guère d'autre moyen de contrôle que de forcer à travers la conduite une intensité *connue* par une connexion directe au rail et de vérifier que la méthode indique alors une intensité de cet ordre. Je n'ai accepté de valeur fournie par cette méthode que lorsqu'elle a été soumise à une vérification de ce genre ou lorsque les contacts voltmètre ont été pris directement sur la conduite.

En outre, on trouble toujours quelque peu le régime de la conduite par le shuntage de cette conduite sur une longueur qui atteint généralement 80 ou 100 m, mais on peut se rendre compte que, de ce fait, les valeurs trouvées pour le courant ne pèchent que par excès, ce qui n'est pas un mal.

Très généralement l'application de cette méthode nous révèle immédiatement que le shuntage de conduites même très grosses par un câble de cuivre de 20 mm² de section suffit pour faire tomber énormément la différence de potentiel e_1, ce qui signifie que la conductibilité de ces conduites est en général très mauvaise, que leurs joints soient peu conducteurs naturellement ou qu'ils le soient devenus par le fait même du passage du courant, suivant la thèse de A. Knudson (*American Electrician*, mars 1900).

J'indique ci-après quelques résultats obtenus sur des conduites de 10 à 30 cm. de diamètre et en général dans la région *neutre* des réseaux, c'est-à-dire dans la région de maximum d'intensité pour les conduites.

AMIENS : Gaz place Hôtel-de-Ville.
$e_1 = 5$ millivolts $e_2 = 4$ millivolts $i_{max} = 0{,}03$ amp. $I_{max} = 0{,}15$ amp.

Gaz devant l'église Saint-Leu :
$e_1 = 15$ millivolts $e_2 = 2$ millivolts $i_{max} = 0{,}01$ amp. $I_{max} = 0{,}10$ amp.

ROUEN : Gaz place Saint-Sever :
$e_1 = 10$ $e_2 = 0$

Gaz rue Thiers :
$e_1 = 10$ millivolts $e_2 = 7$ millivolts $I_{max} = 0{,}02$ $I_{max} = 0{,}06$

SAINT-MANDÉ (Bastille-Charenton) : Gaz Demi-Lune :
$e_1 = 1{,}1$ $e_2 = 0{,}9$ $i_{max} = 0{,}04$ $I_{max} = 0{,}20$

Eau Demi-Lune :
$e_1 = 1{,}1$ $e_2 = 0{,}9$ $i_{max} = 0{,}06$ $I_{max} = 0{,}08$

HAVRE : Canalisation de gaz rue Charles-Laffitte :
$e_1 = 0{,}20$ $e_2 = 0{,}04$ $i_{max} = 0{,}8$ $I_{max} = 0{,}95$

AUBERVILLIERS : Conduite d'eau de 0,50 m de diamètre placée à 1 m sous la voie,
$e_1 = 2$ millivolts $e_2 = 2$ millivolts.

Ici la conductibilité est excellente et le shuntage ne provoque pas de baisse sensible. J'ai eu recours à un artifice consistant à faire passer dans la conduite un courant auxiliaire de 13 ampères qui a déterminé un supplément de chute de 15 millivolts. D'où $I_{max} = 1{,}7$ ampères avec des maximums exceptionnels de 4 ampères. C'est l'intensité la plus forte que j'aie eue à constater. Or, cette conduite pèse 200 kg par mètre et, en le supposant intégralement dangereux, ce qui n'est pas (voir plus loin), le courant qui y circule n'enlèverait pas 5 kg par an dans toute la partie exposée de la conduite.

ce sont les courants terrestres qui ont de beaucoup le rôle prépondérant dans la création de la différence de potentiel rails-tuyaux.

Ainsi, contrairement à la seconde des hypothèses actuellement en vigueur, et conformément à l'opinion de M. Parshall, la presque totalité des courants vagabonds (fig. 6), au lieu de passer dans les conduites, va rejoindre directement, à travers la terre, le feeder de retour [1].

Il est fort heureux d'ailleurs qu'il en soit ainsi, car la proportion des courants vagabonds totaux présente une importance que peu d'expérimentateurs paraissent avoir soupçonnée. Grâce à des méthodes spéciales [2], j'ai pu mesurer cette proportion et constater que sur les réseaux les mieux jointés elle ne descend guère au-dessous de 12 à 15 p. 100 pour s'élever à 25 ou 30 sur d'autres moins bien établis.

Au contraire, les courants qui circulent dans les conduites de nos réseaux sont toujours très faibles, 1 à 4 ampères dans le cas le plus défavorable, conduite en fonte de 50 cm de diamètre, bien jointée, placée sous la voie ; dans la plupart des cas, ces courants sont de l'ordre des dixièmes ou des centièmes d'ampère.

D'où cette première conclusion déjà rassurante : les courants de terre sont beaucoup plus intenses qu'on ne le croit en général, *mais ceux qui circulent dans les conduites, seuls dangereux, sont au contraire beaucoup plus faibles.*

---

(1) Nous nous étions déjà rendu compte de ce fait d'une toute autre façon dans les essais entrepris en 1895 avec M. Meylan ; nous avions constaté que si on relie directement une conduite à la barre négative de l'usine, on peut faire rentrer par ce canal des courants très intenses sans pourtant modifier autrement que *très localement* et sans changer leur sens les différences de potentiel rails-tuyaux, ce que nous expliquions en admettant que la conduite agissait alors comme une plaque de terre de grande surface pour drainer, au voisinage du feeder négatif, tous les filets de courant s'y dirigeant, dont la proportion apparaissait ainsi comme très grande.

(2) Pour une ligne isolée d'un réseau on peut avoir une idée du courant qui sort des rails sur cette ligne en intercalant un ampèremètre vers son milieu et lançant un courant connu à son extrémité. Avec des voies moyennement jointées, j'ai constaté ainsi, à Rouen, des fuites de 30 p. 100 du courant d'essai. Cette mesure ne suffit plus si l'on veut avoir une idée des courants vagabonds dans l'ensemble d'un réseau. J'ai alors eu recours à la méthode suivante : j'ai effectué pendant la nuit des essais précis en lançant sur les voies un courant constant et en mesurant le courant qui, dans la région dangereuse, rentre sur des tronçons de voie de longueur connue, complètement disconnectés et reliés aux rails voisins à l'aide d'ampèremètres lesquels mesurent précisément le courant de rentrée sur ces tronçons : j'ai ainsi constaté que la densité du courant de rentrée en un point de la région dangereuse est sensiblement proportionnelle à la différence de potentiel rails-tuyaux en ce point (cette différence de potentiel en effet ne dépend pas tant qu'on pourrait le croire de la position des tuyaux par rapport aux rails, ce qui provient vraisemblablement de ce que la plus grande partie de la résistance de rentrée est localisée au voisinage immédiat des rails). Pour calculer le courant vagabond total d'un réseau, il suffit donc de déterminer, à l'aide d'un ampèremètre, la rentrée sur un tronçon de longueur connue placé au voisinage du feeder négatif et préalablement disconnecté, et à déduire de la valeur trouvée le courant de rentrée total dans toute la région dangereuse en tenant compte des différences de potentiel rails-tuyaux en chaque point fournis par la carte électrique. J'ai trouvé à Saint-Mandé un courant de rentrée atteignant 1,5 ampère sur un tronçon de 100 m de voie simple placé au voisinage du feeder de retour, à Aubervilliers 2 ampères, etc.

Cette grande perméabilité que par suite des immenses sections en jeu la terre présente aux courants de retour, se traduit par des effets curieux dont je signalerai quelques-uns. A Aubervilliers, les rails d'une ligne à simple voie de 800 m de long qui se détache du réseau principal perpendiculairement a celui-ci, ayant été sectionnés et reliés au réseau à l'aide d'un ampèremètre, j'ai constaté qu'un courant presque constant de 12 à 15 ampères, sur un débit total de 250 à 300 ampères, revenait par cette ligne, en l'absence de toute voiture.

Au Havre, la ligne de la côte Sainte-Marie, dans les mêmes conditions, ramène jusqu'à 40 ampères. Sur ce même réseau du Havre j'ai constaté fortuitement qu'un court-circuit de 400 ampères sur la ligne de l'Eure a fait tripler la chute de voltage, correction faite du lancé de l'appareil, sur la ligne diamétralement opposée du cap de la Hève, parce que le courant brusquement accru n'a pu trouver dans les rails un chemin suffisant et a dû se frayer un passage à travers la terre pour aller rejoindre des lignes moins chargées. Enfin, il arrive fréquemment, comme la simple application d'un millivoltmètre sensible aux extrémités d'un rail permet de le constater, que dès qu'une ligne se détachant d'un réseau est inactive par suite de l'arrêt simultané de toutes ses voitures, elle est le siège de courants parfois très intenses *remontant vers le terminus* pour s'écouler dans la terre et rejoindre, par ce chemin si détourné en apparence, le feeder négatif.

Quelque faibles cependant que soient ces derniers, on pourrait encore craindre de les voir provoquer à la longue une attaque sérieuse s'ils agissaient intégralement comme on le suppose en assimilant les actions dans le sol à celles que nous observons dans le laboratoire. Heureusement, nous avons vu tout à l'heure que la loi du passage du courant à travers le sol suit à peu près celle du passage à travers une résistance métallique. Ceci peut nous faire espérer que la conductibilité du sol est *mixte*, c'est-à-dire qu'une partie au moins du courant y circulerait *inoffensivement* en vertu d'un mécanisme de conduction, et que le reste, seul dangereux, serait véhiculé par un processus électrochimique.

A l'aide de cet instrument remarquable que constitue le compteur O'Keenan, j'ai effectué sur le terrain des essais qui ont confirmé cette hypothèse.

En augmentant convenablement la résistance sur laquelle est branché en dérivation le petit moteur de cet appareil, j'ai pu l'approprier à la mesure des courants très faibles passant, sous l'influence de différences de potentiel variables, dans des plaques de plomb enfouies dans le sol ; en pesant les plaques avant et après, j'étais en mesure de voir si l'attaque était bien égale au produit des ampères-heures passés par l'équivalent électrochimique du plomb. Or, l'attaque est généralement inférieure à l'attaque théorique, ce qui suppose effectivement une conductibilité d'ordre en partie métallique. De plus, à quantité d'électricité égale, l'attaque est très faible aux faibles voltages.

Ainsi, une plaque en plomb soumise à une différence de potentiel de 23 volts par rapport aux rails voisins, a vu son poids diminuer en cinq jours de 100 gr au lieu de 230 gr prévus par la théorie, soit environ la moitié de l'attaque théorique, tandis qu'une autre plaque, soumise à une différence de potentiel difficile à évaluer, mais inférieure à 1 volt, n'a subi, en quarante-cinq jours, qu'une attaque presque négligeable de 20 gr, alors que son poids aurait dû diminuer de 500 gr. Ici, par suite du faible voltage, l'attaque est réduite au 1/25 de sa valeur (1).

Dans ces essais, je n'ai eu recours qu'à des plaques de plomb, estimant que dans le cas du fer il serait difficile de discerner l'action électrolytique de la simple action de l'air et de l'humidité ; j'ai donc été très heureux de la confirmation que des expériences de M. Herrick, relatées dans le dernier numéro de *Street Railway* (mai 1900) apportent précisément aux essais précédents dans le cas très important du fer. D'après cet expérimentateur, qui ne paraît pas d'ailleurs s'être préoccupé de l'effet de la grandeur de la différence de potentiel, l'attaque du fer dans ses essais ne s'est élevée qu'à 3,5 p. 100 de l'attaque théorique, probablement sous de faibles différences de potentiel. Quelle que soit sa cause, le fait est donc certain ; on peut essayer de le traduire en disant que le sol se comporte comme s'il était constitué par une résistance métallique R shuntée par une cuve électrolytique C (fig. 7). On conçoit en effet, que si on soumet un tel ensemble à une différence de potentiel croissante, tant que celle-ci sera inférieure à la force contre-életromotrice de l'électrolyte, rien ne passera dans celui-ci et la conductibilité de l'ensemble sera purement métallique.

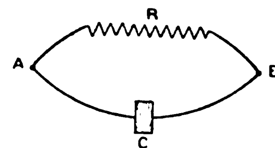


Fig. 7. — Constitution du sol au point de vue électrolytique.

(1) Il semble que l'intensité de ce phénomène soit liée à l'épaisseur de la couche de terre placée entre les deux électrodes, j'ai noté une attaque égale à l'attaque théorique, soit 27 gr, dans le cas de deux plaques en plomb d'un demi-mètre carré enterrées dans un sol humide à 0,30 m l'une de l'autre et soumises à 1,7 volt pendant 5 jours, tandis que l'essai relaté ci-dessus d'une attaque de 20 gr au lieu de 500, se réfère à une seule plaque de plomb simplement reliée à travers le compteur aux rails terminus de Pantin sur le réseau d'Aubervilliers ; de telle sorte qu'ici les courants émanés de la plaque devaient traverser la terre jusqu'à leur rentrée vers le feeder négatif, en un point très éloigné.

Dès au contraire que la force contre-électromotrice sera dépassée, un courant chimique de plus en plus intense circulera, dont le rapport au courant total sera de plus en plus grand.

Ceci n'a d'autre prétention que d'essayer de constituer une représentation schématique des faits : l'explication réelle est peut-être différente. Est-ce, comme le remarquait M. Potier sur mon observation que la plaque soumise à 23 volts sentait fortement le chlore au moment de sa sortie de terre, est-ce qu'une fraction du chlore, variable avec la densité de courant en raison de sa diffusion plus ou moins grande ne resterait pas inactive au contact de l'électrode ? Est-ce que, en raison de la conductibilité spéciale du sol, une partie du chlore ou des composés correspondants ne seraient pas mis en liberté avant d'arriver à l'électrode ? Quoi qu'il en soit, il faut noter que dans tous les essais précédents, comme dans la pratique, les densités de courants sont extrêmement réduites, soit de l'ordre des dixièmes d'ampère par mètre carré d'électrodes, et que, dans ces conditions, la polarisation ne doit pas jouer le rôle auquel on est accoutumé.

D'ailleurs, quelques expériences précises seraient encore nécessaires pour fixer, d'une part le rapport entre les deux espèces de conductibilité, rapport sans doute très variable avec la nature du sol et le degré d'humidité, pour fixer d'autre part la valeur moyenne de ce que j'ai appelé la force contre-électromotrice du sol, c'est-à-dire la valeur de la différence de potentiel rails-tuyaux au-dessous de laquelle l'attaque électrolytique deviendrait négligeable : ce qu'on peut presque avancer, c'est que si cette différence de potentiel, dans la région dangereuse, ne dépasse pas 1 à 1,5 volt, le coefficient d'attaque sera petit.

Or, sur nos réseaux, cette condition est remplie ; les différences de potentiel, dans la région dangereuse, ne dépassent qu'exceptionnellement 1,5 volt, de telle sorte que non seulement les courants qui circulent dans les conduites sont très faibles, mais que leur coefficient d'attaque est petit, et que par suite, le danger est pratiquement nul.

Par contre, la théorie précédente nous montre que le danger peut devenir grand si les joints sont négligés [1] ou si le trafic, la longueur des lignes, etc., dépassent les valeurs auxquelles nous sommes accoutumés, parce que les courants vagabonds augmentent proportionnellement aux chutes sur rails (voir la note 2, p. 144) et que, jusqu'à une certaine limite, la proportion dangereuse de ces courants augmente rapidement, de sorte que le danger peut croître plus vite que le carré de la chute de potentiel.

Mais d'autre part, cette même théorie nous indique pour ces réseaux dangereux, à côté du bon jointage des rails, qui constitue toujours le remède primordial, un nouveau moyen d'atténuer les effets de l'électrolyse : il consiste à diminuer les différences de potentiel rails-tuyaux dans la région dangereuse, puisque ce faisant nous diminuerons dans une mesure qui pourra être forte, la proportion dangereuse des courants dans les conduites.

Pour y arriver, nous nous rappellerons que la différence de potentiel au voisinage du feeder négatif supposé unique est créée par la concentration, dans une région restreinte, des filets de courants venant de tous points du réseau. Si, au lieu de se concentrer en un seul. ces filets de courant trouvaient à se répartir entre plusieurs centres de rentrée différents, la concentration serait évidemment beaucoup moindre, et les différences de potentiel fortement atténuées, de sorte que le résultat serait atteint.

---

(1) Les joints genre *Chicago* peuvent devenir rapidement mauvais dans certaines circonstances, même quand ils offraient au début une bonne conductibilité. Il n'est pas rare, sur des réseaux en fonctionnement depuis quelques années, de trouver des joints équivalant comme résistance à 4 ou 5 longueurs de rails, alors qu'ils ne devraient correspondre qu'à 0,30 à 0,40 rail au plus. La section du type ordinaire est d'ailleurs beaucoup trop faible. Le joint Falk est nettement préférable au point de vue électrique, mais il demande à être fait avec beaucoup de soins.

On voit par conséquent que la solution consiste à multiplier le nombre des feeders de retour. On ne manquera pas ici de faire observer qu'on multiplie déja autant qu'on peut ces feeders de retour : oui on les multiplie mais dans un tout autre esprit ; on les multiplie dans le but de diminuer quelque peu les chutes sur rails et par suite les courants vagabonds, ce qui oblige à des feeders longs et coûteux allant rejoindre la voie en des points très éloignés ; tandis que dans l'ordre d'idées qui résulte des considérations ci-dessus, ce n'est pas la proportion des vagabonds qne nous cherchons à diminuer — car, bien au contraire, nous l'augmentons plutôt en diminuant la résistance de rentrée — c'est seulement la *densité* de ces courants à la rentrée, de telle sorte que pour arriver au but, il suffit de faire aboutir nos différents feeders en des points assez rapprochés les uns des autres et de l'usine.

Par exemple, au lieu d'un feeder unique de 200 mm², il y aura intérêt à mettre deux feeders de 100 mm² aboutissant en deux points séparés par quelques centaines de mètres. Il suffirait même, comme me l'a suggéré M. Garfield, d'un feeder unique venant de l'usine et muni de quelques épanouissements d'égale résistance venant se connecter en des points de la voie distants de quelques centaines de mètres. De cette façon, le remède serait acquis au prix d'un supplément de dépense très faible.

J'ai d'ores et déjà à vous soumettre une vérification expérimentale de cette conception. A Rouen, la voie est reliée directement à la barre négative au voisinage de l'usine située sur la rive gauche de la Seine. En outre, deux feeders de retour de faible section, alimentés par des survolteurs, sont reliés en deux points de la rive droite de la Seine qui forment avec le premier un triangle à peu près équilatéral de 400 m de côté. Tant que ces feeders sont inactifs, la différence de potentiel, au voisinage de l'usine, se tient aux environs de 0,8 volt. Elle tombe à 0,3 volt dès que les deux feeders sont connectés à la voie, et ceci, non parce que les chutes sur rails sont diminuées, — elles ne le sont que d'à peine 1 volt sur 3 ou 4, — mais parce que les courants de retour trouvent trois points de rentrée. Or, s'il y avait encore quelque danger à 0,8 volt, il n'y en a certainement plus du tout à 0,3 volt d'après la théorie que je viens de vous exposer.

Un autre moyen encore plus simple d'arriver au même résultat, qui est en somme d'agrandir la zone dangereuse aux dépens de son intensité, consiste à renverser la pratique habituelle et à relier le pôle négatif des génératrices, et non plus le pôle positif, au fil aérien. Ce moyen a déjà été proposé plusieurs fois, mais il emprunte aux considérations précédentes un intérêt plus grand qu'on n'aurait pu le supposer.

D'ailleurs, il est évident que ces dispositifs n'auront d'effet vraiment efficace que s'ils ont pour effet de faire tomber les différences rails-tuyaux au voisinage de la force contre-électromotrice du sol, et il faut espérer que, ce que je n'ai pu encore vérifier, celle-ci est assez grande pour que la chose soit très facilement réalisable.

Pour terminer, quelle conclusion pouvons-nous tirer de l'application des faits précédents au commentaire des règlements administratifs en vigueur dans notre pays ? Eh bien ! il semble qu'on puisse conclure à l'efficacité de la règle des 5 volts et même peut-être de celle du volt kilométrique, parce que leur application empêche des différences de potentiel très supérieures à 1,5 volt d'être mises en jeu entre rails et tuyaux.

Toutefois, il semble qu'on ferait bien de compléter cette règlementation, en conformité avec la législation du *Board of Trade* anglais en limitant à une valeur qui pourrait être également de 1,5 volt la différence de potentiel dangereuse entre rails et tuyaux, puisque nous avons vu que cette différence de potentiel constitue l'un des *criterium* les plus directs de l'importance du danger, quitte à modifier d'ailleurs dans le sens favorable la clause parfois

difficile à réaliser du volt kilométrique. Je pense qu'on ferait bien aussi, de proscrire légalement une mesure qui est cependant d'une application fréquente en Amérique, mais qui semble plus dangereuse qu'utile, celle de la liaison des tuyaux aux rails dans la région dangereuse (¹).

Quoiqu'il en advienne d'ailleurs, on pourra condenser en quelques mots la conclusion de ce travail en disant que si l'électrolyse peut être effectivement très dangereuse, il semble du moins qu'en France, grâce aux soins apportés dans l'établissement des réseaux, on puisse être parfaitement rassuré à son égard que s'il est nécessaire de ne se départir jamais vis à vis d'elle d'une certaine surveillance.

Georges CLAUDE.

COMPENSATEUR SOLIGNAC

POUR LE RÉGLAGE DES MOTEURS DE TRACTION

Le régime des moteurs employés à la traction est caractérisé par de grandes et soudaines variations de la vitesse et du couple résistant se succédant à de très courts intervalles.

Dans les tramways ou dans les chemins de fer urbains les démarrages sont en effet très fréquents : en général ils se produisent à moins d'une minute d'intervalle par suite des arrêts fixes, et leur nombre se trouve toujours augmenté, souvent dans une très large mesure, par suite des arrêts fortuits qu'entraînent les encombrements de la voie. Si l'on tient compte en outre des nombreux ralentissements dûs à cette dernière cause, on peut dire que dans une exploitation urbaine l'allure du véhicule varie constamment et qu'en général la propulsion s'effectue par une série de lancés suivis de périodes pendant lesquelles le véhicule se meut en vertu de sa propre force d'inertie. Le moteur marche donc rarement à son régime normal ; sa vitesse est presque constamment plus faible que celle correspondant à ce dernier régime.

Pendant ces périodes de vitesse réduite, l'insuffisance de la force contre-électromotrice

(¹) Lorsqu'aucune liaison métallique n'existe entre rails et conduites, on peut dire que celles-ci ne reçoivent, parmi les courants vagabonds sortant des rails, à peu de chose près que la faible fraction à laquelle leur donne droit l'angle sous lequel ces conduites sont vues des rails. Lorsqu'au contraire une liaison métallique même unique est effectuée, le mécanisme de l'entrée des courants dans la conduite est naturellement tout différent ; comme conséquence, on augmente dans une mesure énorme, inattendue, les courants qui circulent dans ces conduites : telle conduite qui était le siège d'un courant d'un dixième d'ampère, voit ce courant passer à 10 ampères, par une liaison dans la région dangereuse, c'est-à-dire *centupler*. Presque toujours en pareil cas on peut constater une augmentation supérieure à vingt fois le courant initial. Or, une telle liaison métallique dans la région dangereuse supprime bien, et c'est sa raison d'être, les chances de corrosion latérales dans cette région, mais on voit dans quelle mesure énorme elle augmente les risques d'attaque des joints. Si tous ces joints sont également mauvais, l'inconvénient sera nul parce que la différence de potentiel agissante s'échelonnera en une série de valeurs inoffensives d'après les théories précédentes, d'autant que le courant sera assez faible, que la presque totalité passera généralement quand même dans le joint sans sortir par la terre, et qu'enfin le peu qui passera dans la terre ne sortira pas seulement au voisinage immédiat de l'obstacle à franchir, comme on se le figure souvent, mais sur une très grande surface en amont du joint ; pour des raisons évidentes l'inconvénient sera nul également dans le cas de joints uniformément bons ; mais il subsistera des chances sérieuses d'accidents pour le cas où quelques joints seulement seraient franchement mauvais, et comme on ne peut jamais répondre de la non réalisation de ce cas, on voit combien on aurait tort de se mettre en frais, au moins sur nos réseaux, pour substituer au *statu quo* actuel (courants dans les conduites très peu intenses et presque inoffensifs), la possibilité de graves accidents. Ici encore, le mieux semble être l'ennemi du bien.

du moteur est compensée par l'interposition d'une résistance ohmique dans le circuit : dans le cas d'un démarrage cette résistance limite l'intensité du courant qui autrement dépasserait de beaucoup sa valeur normale et brûlerait le moteur ; dans le cas de ralentissement de vitesse l'effet de cette résistance est encore de réduire l'intensité, mais cette fois au-dessous de la valeur normale.

Dans un cas comme dans l'autre il y a transformation en chaleur d'une fraction importante de l'énergie électrique fournie au véhicule. La Société des Voitures électriques a cherché à récupérer cette énergie perdue, énergie cependant si coûteuse lorsqu'il faut la demander aux batteries d'accumulateurs. Elle y est parvenue en l'utilisant à la mise en marche d'une petite dynamo qui fournit à son tour de l'énergie électrique utilisable par le moteur de traction.

Le dispositif permettant de réaliser cette idée est tout à fait analogue à un transformateur de courant continu en courant continu ; à cause de son rôle spécial il a été appelé « compensateur ». Il se compose de deux petites dynamos (fig. 1) fonctionnant l'une comme moteur, l'autre comme génératrice ; l'armature A de la première est disposée en série avec le moteur de traction B ; l'armature C de la seconde est au contraire montée en dérivation sur ce moteur.

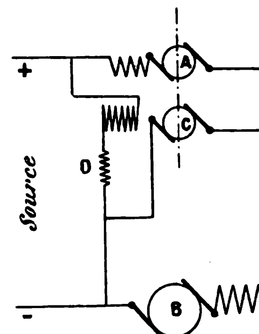


Fig. 1. — Compensateur.

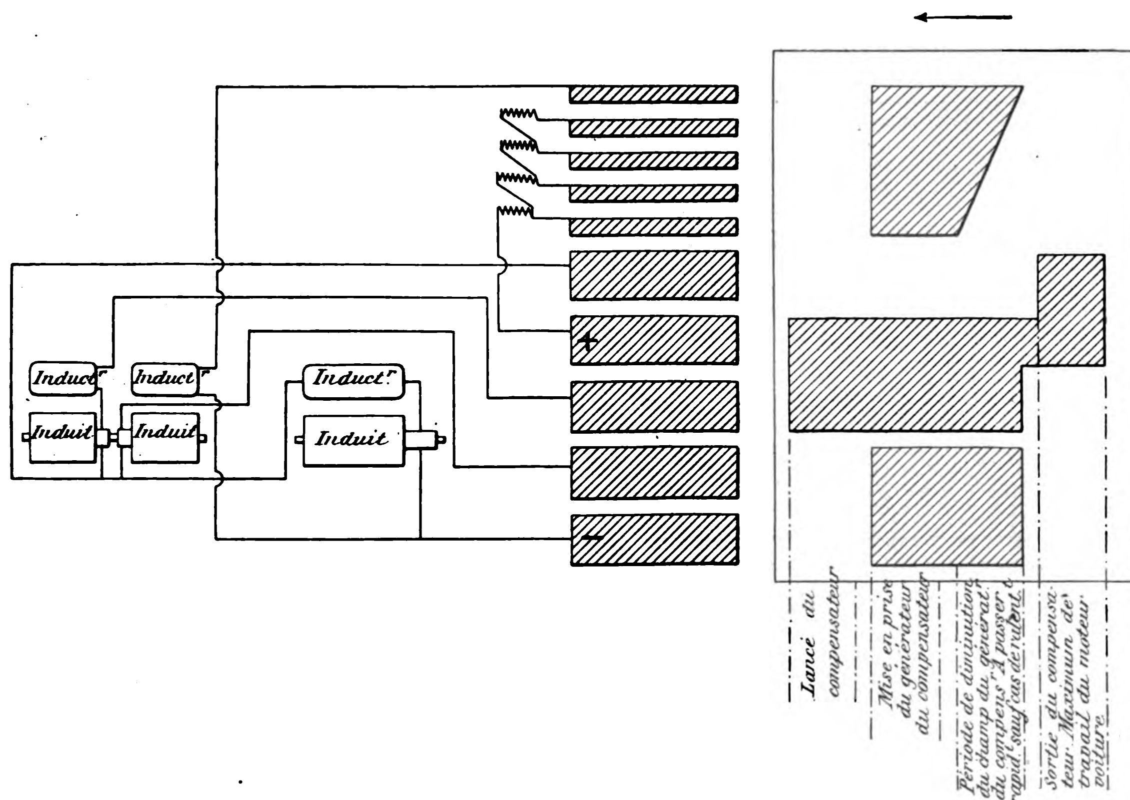


Fig. 2. — Schéma des connexions du compensateur Solignac et du combinateur.

Son fonctionnement au moment du démarrage est le suivant : lorsque le courant est lancé dans le moteur de traction, celui-ci ne se met en route que très lentement en raison du

couple résistant qu'il doit surmonter ; le moteur du compensateur en série avec lui démarre au contraire rapidement, aucune charge n'agissant sur lui ; il atteint par conséquent presque instantanément une vitesse suffisante pour que la force contre-électromotrice à laquelle il donne naissance s'oppose à un débit exagéré, comme le fait la résistance ohmique d'un rhéostat ordinaire. Si l'on excite alors le champ inducteur de l'armature C, celle-ci donne immédiatement un courant qui traverse le moteur de traction simultanément avec le cou-

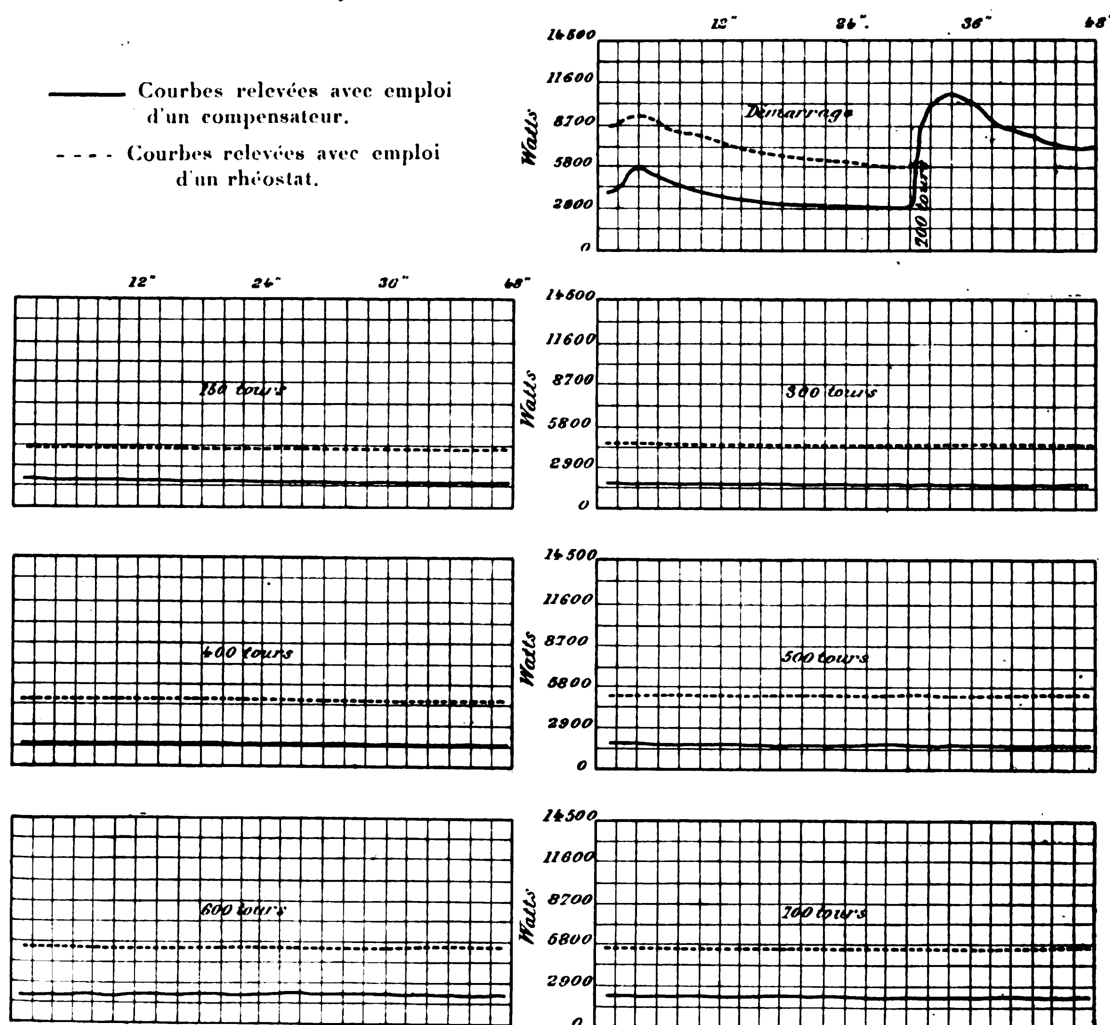


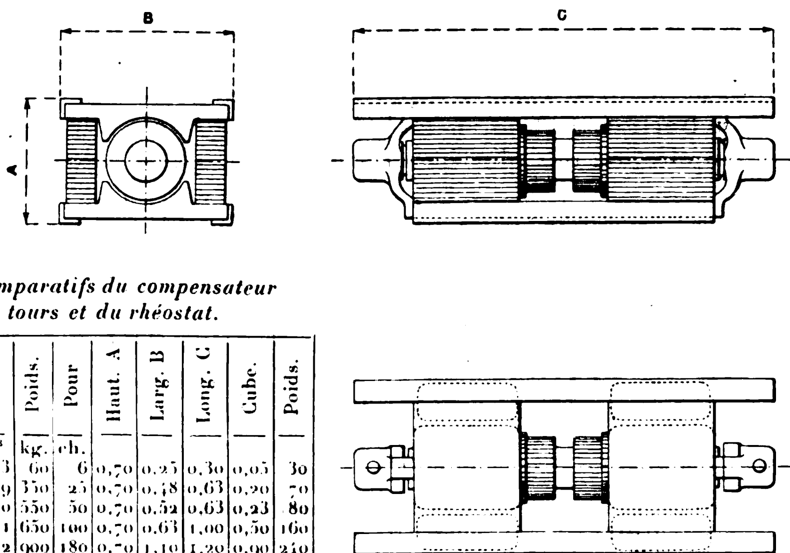
Fig. 3. — Courbes de consommation d'énergie.

rant provenant de la source d'électricité laquelle n'a plus alors qu'à fournir la différence entre le courant total qui traverse B et le courant fourni par l'armature C. Mais bientôt ce dernier courant n'a plus une tension suffisante pour traverser le moteur de traction, car d'une part la force contre-électromotrice de ce dernier augmente à mesure que sa vitesse de rotation augmente, tandis que, d'autre part, la vitesse de rotation du moteur A diminue, tant par suite de l'augmentation du couple résistant provenant de la mise en marche de C que par suite de la diminution de la tension entre ses bornes causée par l'accélération du moteur de traction. A ce moment le rôle du compensateur est terminé et on peut retirer l'appareil du circuit comme on ferait d'un rhéostat ordinaire arrivé à fin de course.

Le rapport d'enroulement des deux armatures du compensateur détermine le moment où cet appareil cesse de jouer un rôle ; on peut donc le modifier à volonté. Dans l'appareil qui a servi à étudier ce principe, ce moment correspond à une vitesse angulaire de 700 tours:minute du moteur de traction. La vitesse maximum de celui-ci étant de 1 200 tours:minute, on pouvait donc considérer le véhicule comme complètement démarré au moment où l'on devait supprimer le compensateur.

Pour la marche à vitesse réduite le compensateur permet également d'éviter une perte inutile de courant. A cet effet on a disposé sur l'inducteur de la dynamo C du transformateur un rhéostat de réglage D, qui, n'étant traversé que par un faible courant dérivé aux bornes de la source, ne cause qu'une dépense d'énergie insignifiante et est de dimensions et, partant, d'un prix très minimes. En affaiblissant le champ de la dynamo au moyen de ce rhéostat on diminue la charge du moteur A du compensateur ; la vitesse de celui-ci augmente et par conséquent la différence de potentiel qu'il laisse disponible aux bornes du moteur de traction diminue ; la vitesse de rotation de ce dernier moteur se trouve donc par là même diminuée.

D'ailleurs on peut faire en sorte que la vitesse du moteur de traction tombe ainsi jusqu'à devenir nulle. A ce moment le courant fourni par la source sert uniquement à faire tourner le moteur du compensateur ; comme la charge de ce moteur est très faible, le courant qui l'actionne est lui-même très faible de sorte que l'on peut alors couper le circuit principal sans craindre la formation d'étincelle gênante. Le compensateur joue ainsi un rôle de brise-courant au moment de l'arrêt.



Éléments comparatifs du compensateur à 1 200 tours et du rhéostat.

Haut. A	Larg. B	Long. C	Cube.	Poids.	Pour	Haut. A	Larg. B	Long. C	Cube.	Poids.
			m³	kg.	ch.					
0,20	0,30	0,50	0,03	60	6	0,70	0,25	0,30	0,05	30
0,28	0,40	0,84	0,09	350	25	0,70	0,48	0,63	0,20	70
0,28	0,40	0,94	0,10	550	50	0,70	0,52	0,63	0,23	80
0,28	0,40	1,00	0,11	650	100	0,70	0,63	1,00	0,50	160
0,30	0,40	1,10	0,12	900	180	0,70	1,10	1,20	0,90	240

Fig. 4. — Dimensions du compensateur.

Les différentes manœuvres assurant le fonctionnement du compensateur aux démarrages, ralentissements de vitesse et arrêts sont réalisées au moyen du contrôleur ou combinateur. La figure 2 qui donne le schéma des connexions de ce combinateur est suffisamment explicite pour n'avoir pas besoin d'insister.

L'économie d'énergie résultant de l'emploi du compensateur Solignac est mise en évidence par les diagrammes de la figure 3 où les traits pleins indiquent la puissance fournie par la source au moteur de traction lorsqu'on emploie un compensateur et les traits ponctués la puissance fournie lorsqu'on emploie un rhéostat ordinaire pendant un démarrage et pendant des périodes de marche à vitesse réduite (150 à 700 tours par minute du moteur). On voit par ces diagrammes, relevés avec un appareil construit par la maison Bréguet, que l'énergie fournie par la source est environ moitié moins grande dans le premier cas que dans le second, il y a donc économie notable de l'énergie empruntée à la source lorsqu'on substitue un compensateur au rhéostat de réglage.

Cet avantage n'est d'ailleurs pas compensé par l'inconvénient d'un plus grand encombrement de l'appareil de réglage. Le tableau de la figure 4 montre en effet que les dimensions d'un compensateur sont plus faibles que celles du rhéostat correspondant. Le poids d'un compensateur est, il est vrai, plus grand que celui d'un rhéostat, mais cette augmentation de poids est insignifiante auprès de la diminution de poids de la batterie d'accumulateurs que permet de réaliser la substitution d'un compensateur à un simple rhéostat : ainsi sur une voiture munie d'un moteur de 6 chevaux et portant ordinairement une batterie de 500 kg, on peut réduire ce dernier poids du tiers au moins, c'est-à-dire d'environ 175 kg, par le remplacement d'un rhéostat du poids de 30 kg par un compensateur du poids de 60 kg.

Ajoutons qne le compensateur Solignac peut encore rendre de grands services dans le réglage des moteurs des voitures de tramways alimentés par une canalisation reliée à une station centrale. Non seulement il procurerait dans ce cas les mêmes économies d'énergie que dans celui des voitures à accumulateurs mais il aurait encore l'avantage de diminuer l'importance des à-coups qui se produisent lorsque plusieurs voitures démarrent ensemble; il permettrait donc de supprimer les batteries-tampons qu'on a dû installer dans les usines de traction ou tout au moins d'en réduire considérablement la capacité. Il a donc là une application des plus importantes qui ne peut tarder à être réalisée.

J. Reyval.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

MESURES

Détermination de quelques susceptibilités magnétiques, par **St. Meyer** (*Dr. Ann.* t. I. p. 665-668). ***Magnétisme atomique et magnétisme moléculaire,*** par le même (*Ibid.*, p. 668-673) avril 1900.

Le vanadium est paramagnétique et même le chlorure VCl^2 est assez magnétique pour qu'il soit facile de réaliser avec ce sel une dissolution non magnétique, comme l'exige la méthode de Du Bois [1].

St. Meyer a mesuré la susceptibilité de ce chlorure par la méthode de la balance précédemment décrite [2]. Entre 10 000 et 17 000 unités CGS, l'intensité du champ n'a pas d'influence. la susceptibilité varie comme la concentration de la dissolution et correspond à une conductibilité moléculaire $k = + 1,25\ 10^{-6}$.

Il a mesuré aussi la susceptibilité de l'oxyde de gadolinium Gd^2O^3 et du sulfate de samarium $Sa^2(SO^4)^3 + 8\ H^2O$, à l'état solide. Il a déduit de ces mesures une valeur de la susceptibilité atomique du samarium, voisine de celles trouvées par l'étude antérieure du sesquioxyde et de l'azotate ($11,2\ 10^{-6}$ au lieu de $10,1$ et $12,1\ 10^{-6}$).

Pour le gadolinium, les nombres diffèrent au contraire de ceux trouvés sur un autre échantillon. Les deux métaux appelés Gd et Sa doivent renfermer un troisième métal, caractérisé par de nombreuses lignes spectrales et fortement magnétique à en juger par ce spectre.

G. Wiedemann avait annoncé que les composés cuivreux sont diamagnétiques et les composés cuivriques, paramagnétiques.

Cette loi n'est pas générale, ainsi CuS et Cu^2S sont tous deux diamagnétiques. Mais il existe une relation entre la susceptibilité et la variation de volume moléculaire qui accompagne la combinaison : s'il y a contraction, c'est-à-dire si le volume moléculaire est inférieur à la somme des volumes atomiques, la susceptibilité moléculaire augmente et la combinaison peut même

(1) *Écl. Élect.*, t. XXII, p. 471 ; 24 mars 1900.
(2) *Écl. Élect.*, t. XX, p. 520 ; 30 sept. 1899.

être paramagnétique ; s'il y a dilatation, la susceptibilité diminue (algébriquement).

Meyer ne pense pas qu'on puisse déduire d'une manière certaine la susceptibilité moléculaire d'un sel solide de la susceptibilité de sa dissolution et ne croit pas, comme Du Bois, qu'une seule expérience permette de conclure qu'un métal est diamagnétique : car avec un métal faiblement magnétique, on peut obtenir des résultats de signe différent suivant qu'il est amorphe ou cristallisé.

M. L.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

ACADÉMIE DES SCIENCES

Séance du 9 juillet 1900.

Sur un nouveau type de trompe à mercure permettant d'obtenir le vide maximum, par **Berlemont** et **Jouard**. *Comptes rendus,* t. CXXXI, p. 110-111.

Dans la construction de cette trompe on a complètement évité l'emploi des robinets, du caoutchouc et des tubes courbés. La suppression des robinets supprime les fuites ainsi que la présence des vapeurs qu'émettent les matières grasses qui les lubrifient ; la suppression du caoutchouc évite la sulfuration du mercure et la formation d'hydrogène sulfuré ; la suppression des tubes courbés empêche la formation de bulles gazeuses dans les courbures.

La construction des chutes présente aussi quelques améliorations ; elles peuvent être rapidement enlevées ou remises en état.

D'un faible encombrement cette trompe peut être disposée tout entière dans une cage vitrée qui la met à l'abri des chocs, de la poussière et de l'humidité.

Séance du 16 juillet 1900.

Sur le rayonnement de l'uranium, par **H. Becquerel**. *Comptes rendus,* t. CXXXI, p. 137-138.

Si à une solution de chlorure uranique actif on ajoute une solution de chlorure de baryum à l'état de sulfate, ce sulfate entraine avec lui un produit très actif émettant des rayons déviables tandis que le sel d'uranium qui reste dans la solution est moins actif qu'il ne l'était avant cette opération. Ce résultat a fait penser que l'activité des sels uraniques pourrait être due à la présence d'une substance étrangère.

Dans le but de reconnaître ce qu'il y a d'exact dans cette hypothèse, M. Becquerel a soumis une solution de chlorure uranique à 18 précipitations successives et il a étudié, soit par la photographie, soit par l'électroscope, les 18 précipités obtenus et les produits uraniques correspondant à chaque précipitation.

M. Becquerel a trouvé ainsi : 1° à partir de la huitième opération l'activité du produit uranique diminue très peu ; 2° l'aluminium est plus transparent que le verre pour le rayonnement du produit non purifié, tandis qu'il est plutôt moins transparent pour le rayonnement des sels purifiés à partir du n° 12 ; 3° la conductibilité communiquée à l'air par le rayonnement de ces sels au travers du papier, va en diminuant, mais la diminution n'est pas régulière lorsqu'on passe d'un produit à l'autre.

L'auteur conclut que ces essais demandent à être repris et complétés et ne permettent pas de décider si l'uranium possède ou non une activité propre.

Préparation et propriétés de deux borures de silicium **SiB^3** et **SiB^6**, par **Henri Moissan** et **Alfred Stock**. *Comptes rendus*, t. CXXXI, p. 139.

Dans un tube de terre réfractaire (20 cm de long et 4,5 cm de diamètre) pénètrent deux électrodes en charbon (3 cm de diamètre) distantes d'environ 12 cm. Entre ces électrodes on met un mélange bien desséché de 100 gr de silicium cristallisé et de 20 gr de bore pur et l'on réunit les deux charbons par quelques minces fils de cuivre. On fait passer pendant 50 à 60 secondes un courant alternatif de 45 volts et d'une intensité atteignant 600 ampères. Après refroidissement on trouve un culot de forme allongé très riche en silicium. On en enlève les extrémités qui touchaient au silicium et qui sont souillées par du silicium de carbone. On traite ensuite par un mélange d'acide fluorhydrique et d'acide

azotique pour dissoudre le silicium et l'on obtient des cristaux noirâtres souillés d'impuretés que l'on enlève par un traitement à la potasse fondue et par lavages à l'eau et à l'acide azotique.

Les cristaux ainsi préparés sont noirs et doués d'un grand éclat ; les uns ont pour formule SiB^3, les autres, plus nombreux, ont pour formule SiB^6. Comme le siliciure de carbone (carborundum) et le borure de carbone, ils sont d'une très grande dureté ; ils rayent avec facilité le cristal de roche et même le rubis le plus dur.

Sur le dosage électrolytique du bismuth, par **Dmitry-Balachowsky.**

Jusqu'ici on n'avait pas réussi à obtenir, par l'électrolyse des sels de bismuth, un dépôt suffisamment adhérent pour permettre le lavage et les pesées. Presque toujours on obtient un précipité amorphe d'oxyde qui, comme l'a montré M. A. Classen (1), ne peut servir pour le dosage.

En 1860, Luckow (2) essaya l'électrolyse d'une solution renfermant de l'acide azotique libre, mais n'obtint qu'un précipité de peroxyde Bi^2O^5. Thomas et Smith (3) électrolysaient le sulfate et le citrate. Moore (4) (1856) voulait le précipiter du Na^2HPO^4. Rüddorff (5) essaya vainement d'obtenir des résultats par ces méthodes. Lui-même recommande l'électrolyse en présence de pyrophosphate de sodium, d'oxalate et de sulfate de potassium. Il précipite ainsi 0,1 gr de bismuth en vingt heures. G. Kalloock (6) emploie le citrate et obtient 0,177 gr de métal. Aucune de ces méthodes n'a donné jusqu'ici de résultat pratique.

L'auteur a réussi à obtenir un dépôt de bismuth métallique, adhérent à la cathode et permettant les lavages et les déterminations quantitatives. Les conditions à remplir pour arriver à un bon résultat sont les suivantes : 1° Faible acidité de la solution ; 2° Absence de grandes quantités de Cl, Br, I ; 3° Faible intensité de courant (maximum, 0,060 ampère ND_{100}) ; 4° Électrodes dépolies (7).

(1) P.-A. Classen, *Quantitative Analyse durch Electrolyse*, p. 174 ; 1897.

(2) *Zeitschr. fur analyt. Chemie*, t. XIX.

(3) *Americ. Chem. Journ.*, t. V.

(4) *Chem. News*, t. LIII.

(5) *Zeitschrift für angewandte Chemie*, 1892.

(6) *Chem. News*, t. LXXXI, n° 2115.

(7) « 1° Nos expériences, dit M. Balachowsky, ont porté sur une quantité de sel, sulfate ou nitrate, mais pas chlorure, variant de 0,5-0,8 gr, dissous dans 5 à 6 cm³ d'acide azotique étendu de 150 cm³ d'eau. On ajoute alors 3-4 gr d'urée (de 0,7 à 1 gr. par cm² d'acide azotique). La température est d'environ 60° ; la densité du courant 0,03 à 0,04 ND_{100} (maximum, 0,060). Différence de potentiel 1,5-1,9 volt. Durée de l'analyse, six-huit heures. L'appareil employé était la capsule de Classen dépolie. Dans ces conditions, on obtient un précipité métallique, absolument exempt d'oxyde et parfaitement adhérent. Pendant l'électrolyse, nous avons observé, quand nous opérions à la température ordinaire, un dépôt léger, colorant l'anode en noir bleuâtre ou jaune, et qui disparait quand on chauffe légèrement. Nous poursuivons l'étude de la nature de ce dépôt.

» La densité du courant reste constante pendant toute la durée de l'analyse. Il est néanmoins utile de surveiller le précipité, car, si la densité dépassait 0,07 ampère ND_{100}, on aurait précipitation d'oxyde. Dans le cas où il n'y aurait eu formation que de très peu d'oxyde, on pourrait le faire disparaitre au bout d'un certain temps en ramenant le courant à la densité indiquée. Vers la fin de l'électrolyse, il est utile d'augmenter le voltage jusqu'à 2 volts et la densité jusqu'à $ND_{100} = 0,08$. On vérifie que la précipitation a été complète avec H^2S ou la troisième électrode.

» On lave le précipité sans cesser le courant, à l'eau puis à l'alcool et l'on met à l'étuve à 100 degrés. Le métal qui est déposé n'est pas oxydé sensiblement même après plusieurs jours. Pendant la durée de l'électrolyse, au contraire, le métal est très oxydable. Comme nous l'avons indiqué plus haut, une légère augmentation de l'intensité du courant suffit pour produire cette oxydation.

» Si l'on chauffe ce précipité, il brûle entièrement avec formation d'oxyde Bi^2O^5, que l'on peut peser comme vérification. Mais cette opération détériore le platine. Au contraire, le bismuth métallique n'agit pas sur la capsule de platine, que l'on peut laver facilement au moyen de l'acide azotique concentré.

» 2° On peut effectuer ces diverses opérations de la même manière dans une capsule de platine, préalablement recouverte d'une couche de cuivre par l'électrolyse. Nous reviendrons sur ce fait, qui présente une grande importance au point de vue de la séparation du cuivre et du bismuth.

» 3° On peut encore opérer la précipitation du bismuth à l'état métallique, en opérant de la même façon, mais en remplaçant dans la solution précédente l'urée par l'aldéhyde formique ou l'aldéhyde éthylique. Dans ce cas, il peut se produire vers la fin de l'opération une légère oxydation. Il est nécessaire, à ce moment, de diminuer légèrement le potentiel et l'intensité, et d'ajouter 1,5 ou 2 cm³ d'aldéhyde en chauffant vers 80°-90°. On termine alors l'opération avec 2v et densité $ND_{100} = 0,05$. Nous nous proposons d'ailleurs de revenir prochainement sur le rôle de l'urée et de l'aldéhyde dans cette opération.

Le Gérant : C. NAUD.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

L'EXPOSITION UNIVERSELLE

ACCUMULATEURS HEINZ

La fabrique d'accumulateurs Heinz et Cie expose deux catégories d'éléments ; les premiers, à grande capacité spécifique sont utilisés pour la traction des voitures automobiles, l'allumage des moteurs de voitures à pétrole, l'éclairage des véhicules, etc. La deuxième catégorie d'éléments, à faible capacité spécifique, est employée pour l'éclairage à poste fixe, stations centrales, tramways, etc.

Plaques. — Les plaques positives utilisées dans ces deux catégories d'éléments sont des deux types Faure et Faure-Planté. Les premières, à capacité spécifique élevée, sont constituées par un grillage en plomb antimonieux à 8 p. 100, fondu d'une seule pièce. Ce grillage comporte, ainsi que l'indique la figure 1, qui représente une plaque 210×98 mm, des alvéoles rectangulaires ayant environ 2 centimètres de largeur sur 3 centimètres de hauteur. L'épaisseur de la plaque est de 4,3 mm.

La matière active est composée de minium et litharge en parties égales ; le mélange traité par un procédé spécial est humecté d'eau distillée puis comprimé fortement dans les alvéoles du support. Au moment de la compression, la matière active reçoit un certain nombre de perforations destinées à augmenter la surface active de la masse et à faciliter la circulation de l'électrolyte. La matière active ainsi obtenue est très poreuse, en même temps qu'elle jouit d'une excellente cohésion.

Les poids relatifs de support et de matière active sont pour une plaque de dimensions 210×100 :

Poids du support.	185	grammes.
Poids de la matière active.	345	»
Poids total.	530	»

soit une proportion de matière active de 65 p. 100 environ.

Après formation de ces plaques positives, celles-ci sont enroulées d'un fil d'amiante ou d'amiante et de caoutchouc. L'avantage de ce dispositif est de créer sur toute la surface de la plaque une pression uniforme et de retenir ainsi plus longtemps la matière active sans entraver la circulation de l'électrolyte ni le dégagement gazeux.

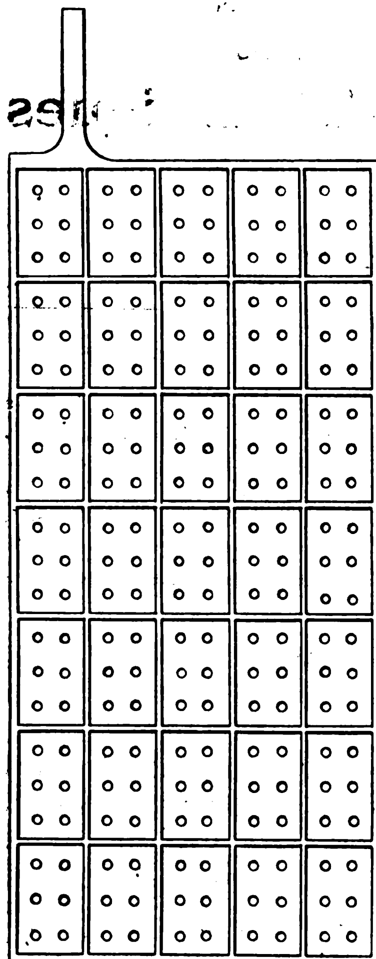


Fig. 1. — Plaque positive Heinz à grande capacité.

Les plaques positives de la deuxième catégorie, à faible capacité spécifique, sont du type mixte Faure-Planté. Elles se composent d'une âme en plomb doux de 3 mm d'épaisseur portant sur chaque face des nervures verticales (figures 2 à 4) de 0,9 mm d'épaisseur espacées de 0,8 mm et de 3 mm environ de profondeur. Dans la figure 2, *a* représente une vue en élévation ; *b* une coupe suivant AB et *c* une coupe suivant CD. La coulée se fait sous pression.

Les plaques ainsi coulées sont placées dans une solution chaude acidulée de façon à produire à la surface du plomb une attaque légère qui forme des creux et des rugosités destinés à augmenter la surface et à mieux retenir l'empâtage qui est fait au minium. Les plaques sont ensuite formées par le procédé ordinaire. Elles travaillent au début comme des plaques Faure et le quadrillage se forme dans la suite en Planté.

Les plaques négatives des deux catégories d'éléments sont du même type et ne diffèrent que par leur épaisseur, celle-ci étant 6 mm dans les éléments légers et 8 mm dans les éléments à poste fixe.

Le support de matière active de ces électrodes est fondu en deux parties qui sont soudées et rivées ensemble après empâtage ; à cet effet l'une des moitiés porte un certain nombre d'œils dans lesquels s'engagent les têtons en plomb de l'autre moitié.

Ce support présente comme caractéristique une forme de cage à barreaux très rapprochés (voir fig. 5 et 6) permettant d'éviter les chutes et les boursouflures de matière active. En outre la multiplicité des petits barreaux aide à la répartition uniforme du courant électrique dans la masse active et permet ainsi d'augmenter la densité du courant de charge et de décharge. Dans la figure 3, *a* est une vue en élévation de la moitié du quadrillage qui porte les œils ; *b* figure la coupe AB et *c* une coupe correspondante de l'autre moitié qui porte les têtons.

La pâte que l'on introduit dans ce support négatif est constituée par de la litharge pure malaxée avec une dissolution de sulfate de magnésie.

Les poids relatifs de support et de matière active sont

Poids du support	300	grammes.
Poids de la matière active	500	»
Poids total	800	»

ce qui donne pour la proportion de matière active 62,5 p. 100.

Eléments à grande capacité spécifique. — Ces éléments sont composés, comme on l'a vu plus haut, de plaques positives genre Faure de 4,3 mm d'épaisseur et de plaques négatives de 6 mm d'épaisseur. Le montage s'effectue dans des bacs en ébonite. Les plaques, supportées par des tasseaux au fond du bac, sont reliées entre elles, pour les plaques de même polarité, par une large bande en plomb qui, repliée, forme la connexion entre deux éléments voisins. Pour ces éléments, le constructeur garantit une durée de 150 charges et décharges sans abaissement de la capacité.

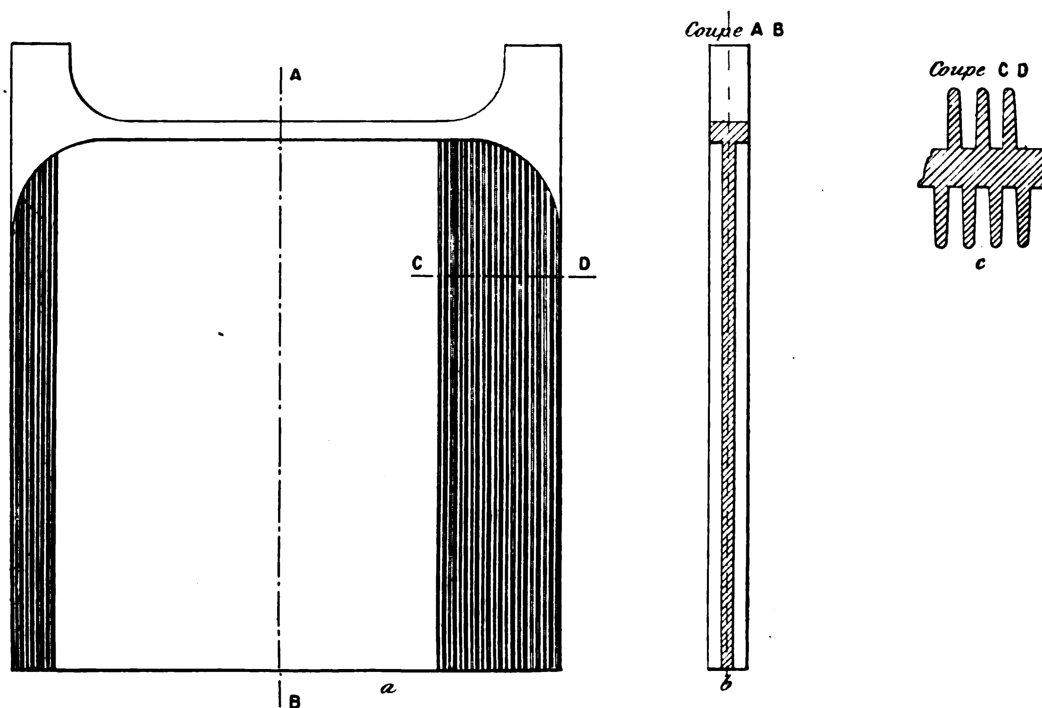
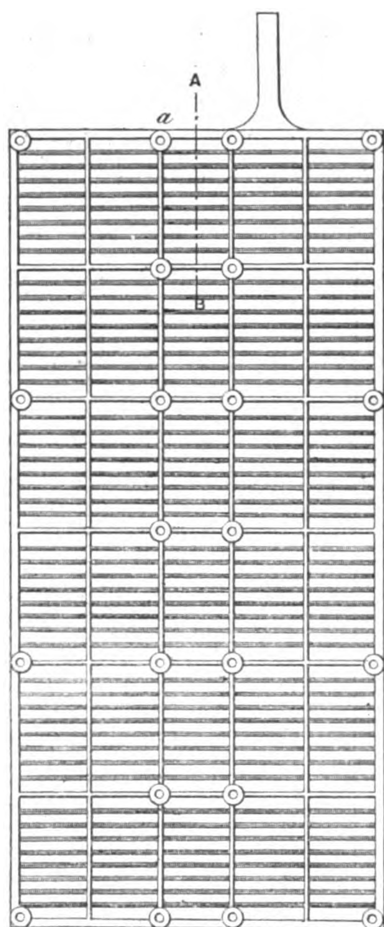


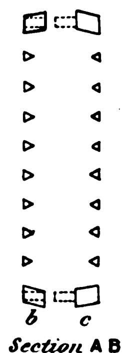
Fig. 2 à 4. — Plaque positive Heinz à faible capacité. — Vue de face et coupes.

Le tableau suivant donne les principales constantes d'un de ces éléments :

Dimensions extérieures du bac.	hauteur en mm. . . .	270 (connexions comprises.)
	longueur »	186
	largeur »	110
Nombre de plaques		19
Dimensions des plaques. . . .	hauteur en mm. . . .	210
	largeur »	100
	épaisseur »	4 (+) et 6 (—) (les extrêmes n'ont que 3 mm.)
Poids des plaques positives, en kg		4,77
» négatives »		7,20
Poids total d'électrodes »		11,97
» de l'élément »		15,90
Capacités aux différents régimes.	8 heures	210 amp.-h. à 26 amp.
	6 »	200 » à 33 »
	4 »	172 » à 43 »
	2 »	155 » à 77 »

Eléments à faible capacité spécifique. — Ces éléments sont montés avec les plaques positives type Faure-Planté et les négatives de 8 mm décrites plus haut.





Le montage s'effectue dans des bacs en verre, les plaques étant suspendues sur les bords du bac par une queue en plomb qu'elles portent de chaque côté. Une de ces queues possède un petit prolongement vertical qui pénètre dans une fente de la barrette de plomb qui relie les plaques de même polarité ; une soudure en assure le contact. L'écartement entre les plaques est maintenu par des tubes de verre qui sont retenus dans des saillies que portent de légères entretoises en plomb posées à cheval sur les deux queues d'une même plaque. Pour les gros éléments, le montage est effectué dans des bacs en bois imprégné, doublé de plomb.

Le constructeur assure qu'après cinq ans de fonctionnement, des batteries n'ont pas encore subi de remplacement d'électrodes, ce qu'il attribue à l'excès de matière active négative qui permet au support positif de se former peu à peu en Planté et par suite de maintenir constante la capacité de l'élément malgré la chute de matière active.

Nous résumons dans le tableau suivant les principales constantes de ces éléments :

Fig. 5 et 6. — Plaque négative Heinz.

		Bac verre.	Bac bois doublé de plomb.
Dimensions extérieures du bac.	hauteur en mm.	360	570
	longueur » .	360	510
	largeur » .	200	350
Nombre de plaques.		9	17
Dimensions des plaques. . . .	hauteur en mm.	210	400
	largeur » .	310	400
	épaisseur »	10 (+) 6 (—) 3 (— extrêmes).	10 (+) 7 (—) 3,5 (— extrêmes).
Poids des plaques positives, en kg.		20	120
» négatives »		10	70
Poids total d'électrodes, »		30	190
» de l'élément, »		48	272
Capacités aux différents régimes.	10 heures . . .	260 amp.-h. à 26 amp.	1 300 amp.-h. à 130 amp.
	6 » . . .	216 » à 36 »	1 080 » 180 »
	3 » . . .	174 » à 58 »	900 » 300 »
	1 » . . .	120 » à 120 »	600 » 600 »

Ajoutons que la maison Heinz et C[ie] étudie actuellement des électrodes genre Planté dont elle pressent l'utilité dans quelques cas particuliers.

ACCUMULATEUR OMÉGA

L'accumulateur Oméga que construit la maison Geoffroy et Delore a été spécialement étudié pour les batteries destinées à supporter des intensités élevées de charge et de décharge. Comme tel, ses applications les plus importantes sont donc les batteries-tampon, les batteries d'éclairage et les batteries de tramways.

Plaque positive. — La plaque positive Oméga est du type Planté. Entièrement en plomb doux, elle est constituée par une âme en zigzag de 3 mm d'épaisseur environ. Cette âme est entièrement recouverte par une série de petites lamelles très fines, ayant moins de 1 mm de largeur à la surface, et très rapprochées, l'écartement n'ayant pas beaucoup plus de 1 mm.

Ces lamelles qui sont disposées verticalement et perpendiculairement au plan de la plaque (voir la fig. 1) ont environ 20 mm de hauteur et se terminent aux parties rentrantes de l'âme. Il en résulte qu'elles affectent la forme d'un trapèze rectangle double, la petite base étant commune. Entre chaque série horizontale de lamelles, on a ménagé un intervalle ayant 1 mm environ qui permet la libre dilatation des lamelles qui constituent la partie active de la plaque.

Par suite de cette construction et de la forme de l'âme, les deux côtés de la plaque ne sont pas symétriques; aux rainures d'un côté correspondent les milieux des lamelles de l'autre. La forme en zigzag, de l'âme, permet une extension de la plaque dans le sens de la hauteur.

La plaque ordinaire a environ 260 mm de hauteur, 210 mm de largeur et 13 mm d'épaisseur. Elle est partagée dans les deux sens en trois parties égales par deux nervures verticales et deux nervures horizontales d'environ 2 mm de largeur qui donnent de la rigidité à la plaque. La formation est effectuée par le procédé Planté.

Etant donné le très grand nombre de ces fines lamelles la surface totale active est considérable. Ainsi pour la plaque citée plus haut, elle peut être évaluée à environ 111 dm^2, alors que la surface apparente de la plaque n'est que 11,1 dm^2, soit le dixième seulement. Cette grande surface active rend la plaque très apte aux charges et décharges rapides.

Elle jouit évidemment de tous les avantages des plaques Planté à grande surface; mais les constructeurs affirment de plus avoir supprimé d'une façon absolue le gondolement, grâce à l'emploi de l'âme ondulée, et à l'écartement entre les lamelles.

Plaque négative. — La plaque négative est constituée par un grillage en plomb doux affectant la forme indiquée par la figure 2 qui se rapporte à la plaque ordinaire de 270 mm environ de hauteur, 210 mm de largeur et 8 mm environ d'épaisseur.

Les lamelles de plomb du grillage laissent entre elles des alvéoles successivement carrés de 10 mm de côté environ, et rectangles de 10 mm de largeur sur environ 3 mm de hauteur.

Après la coulée de cette grille, les alvéoles sont empâtés de matière active qu'on réduit ensuite en plomb spongieux par le courant.

Cette forme de plaque a été adoptée afin de répartir le plus possible le conducteur et de retenir chaque pastille négative dans sa cellule.

Eléments. — Tous les éléments sont montés avec les deux plaques, positive et négative, décrites ci-dessus. Le nombre seul des plaques varie quand on passe des petits éléments aux gros.

Pour les petits éléments, les bacs sont en verre et les plaques sont suspendues sur les

bords du bac par des queues qu'elles portent à chaque extrémité ainsi que le montrent les figures 1 et 2. Une des queues porte de plus un prolongement vertical destiné à être soudé à la barrette de connexion qui relie les plaques de même polarité. L'écartement des plaques est assuré par des tubes de verre.

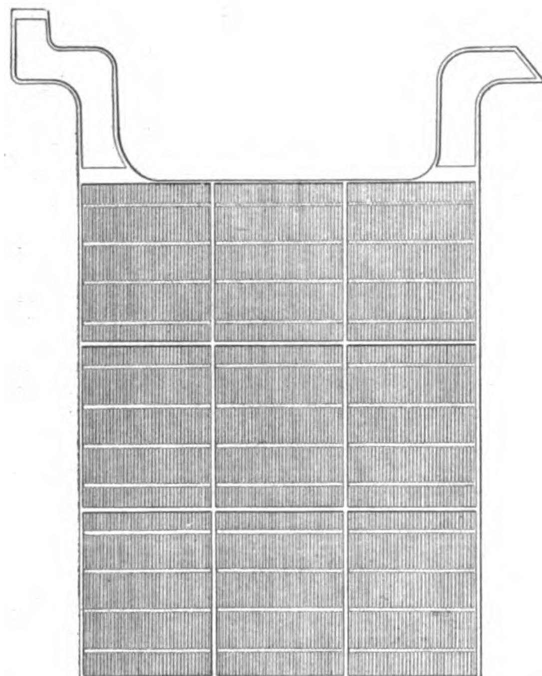


Fig. 1. — Plaque positive Oméga.

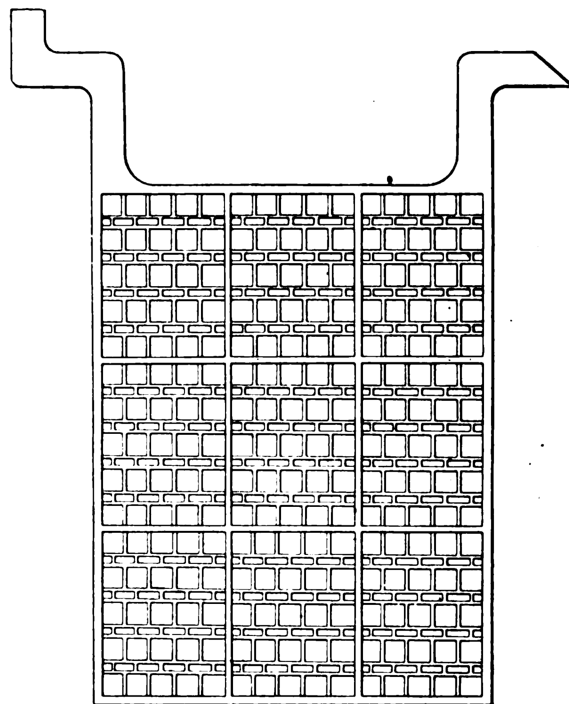


Fig. 2. — Plaque négative Oméga.

Pour les éléments plus gros, le montage est fait dans des bacs en bois doublé de plomb et les plaques sont suspendues sur des dalles en verre.

Nous donnons ci-dessous les principales constantes pour un élément de ces deux catégories.

Nature du bac		Petit élément Verre	Gros élément Bois doublé de plomb
Dimensions extérieures du bac	hauteur en mm	400	400
	longueur »	315	1195
	largeur »	290	320
Nombre de plaques		4 + et 5 —	19 + et 20 —
Dimensions des plaques	hauteur en mm	262 (+) 275 (—)	262 (+) 275 (—)
	largeur »	212 (+ et —)	212 (+ et —)
	épaisseur »	13 (+) 8 (—)	13 (+) 8 (—)
Poids des plaques positives, en kg		21,6 environ	102,6 environ
» négatives »		15,5 »	62 »
Poids total d'électrodes »		37,1 »	164,6 »
» d'élément »		74,2 »	313 »
Capacités aux différents régimes	10 heures	268 amp.-h. à 26,8 amp.	1273 amp.-h. à 127,3 amp.
	7 »	244 » 34,8 »	1159 » 165,6 »
	6 »	234 » 39 »	1111 » 185,2 »
	5 »	224 » 44,8 »	1064 » 212,8 »
	3 »	188 » 62,7 »	893 » 297,7 »
	2 »	162 » 80 »	760 » 380 »
	1 »	132 » 132 »	627 » 627 »

Lorsque l'élément est de plus grande capacité encore et que le nombre de plaques doit dépasser 39, les plaques sont montées par série de deux en dérivation dans le même bac. On évite ainsi de construire de trop grandes plaques dont la déformation est difficile à éviter.

CHAUDIÈRE SOLIGNAC (1).

Les chaudières qui alimentent les groupes électrogènes de l'Exposition présentent un

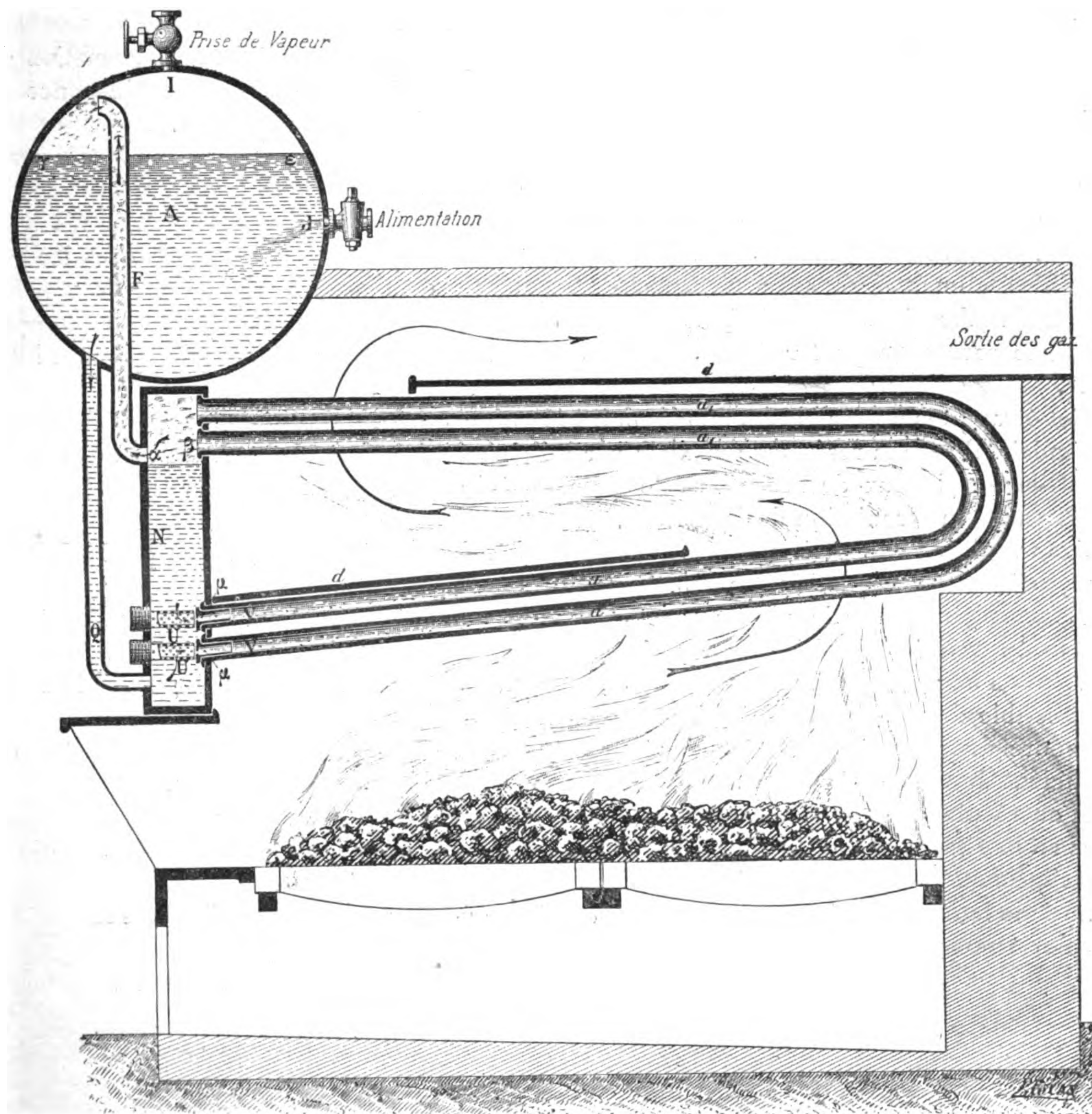


Fig. 1. — Chaudière Solignac.

ensemble fort complet des différents spécimens de cette industrie; c'est surtout une expo-

(1) Exposée par la Société Solignac, Grille et Cie, au Champ-de-Mars, salle des chaudières La Bourdonnais.

sition pratique beaucoup plus qu'une exposition de nouveauté. Cela tient probablement au souci qu'avait le Comité d'admission de ne confier ce service important qu'à des appareils ayant la sanction de la pratique. Cependant un des générateurs exposés est véritablement basé sur un principe original et nous avons été heureux de le rencontrer dans la section française. C'est la chaudière Solignac qui a déjà, du reste, fait ses preuves en France.

Cette chaudière est basée sur cette théorie que dans les chaudières tubulaires l'eau ne circule pas à pleine section mais que les tubes ne contiennent en réalité qu'un mélange d'eau et de vapeur et que ce fluide circule dans le réseau tubulaire en partant du point le plus résistant pour déboucher au point le moins résistant.

En admettant cette théorie, il est évident qu'il y a avantage à éviter la formation de bouchons d'eau dans les tubes et qu'il faut essayer de créer la plus grande différence de résistance possible au frottement entre les deux extrémités de chaque tube.

C'est ce qui est réalisé dans la chaudière Solignac représentée schématiquement figure 1 où chaque tube *a* prend son alimentation et retourne dans une boîte avant N; un niveau d'eau $\alpha\beta$ est maintenu constant dans la boîte par une bouteillle alimentaire A munie d'un tube Q, formant en même temps volant de vapeur et groupée à la manière ordinaire des bouteilles alimentaires avec la capacité N qui est en réalité le générateur de vapeur. En tête du tube, dans sa partie immergée, se trouve une tuyère ou diaphragme Uμ composée d'une cartouche portant à son centre un trou de 6 mm pour les tubes de 25 mm intérieur.

Cet étranglement réalise les deux conditions que la théorie que nous venons d'exposer demandait, il crée la résistance maxima par rapport à l'extrémité supérieure libre du tube et en limitant l'afflux de l'eau dans le tube, il évite les encombrements de liquide qui retarderaient la circulation de la vapeur.

Sans vouloir discuter le bien fondé de cette théorie, les résultats obtenus par MM. Solignac, Grille et Cie la justifient complètement.

Le petit générateur de vapeur exposé par ces constructeurs permet en effet, malgré ses dimensions réduites, d'obtenir une puissance de 150 chevaux avec des consommations de charbon on ne peut plus satisfaisantes, 8 kg d'eau étant évaporés par kilogramme brut de combustible de qualité ordinaire brûlé. Sa production normale est de 1 200 kg de vapeur par heure avec une vaporisation de 40 kg d'eau par mètre carré de surface de chauffe, coefficient de plus du double de celui obtenu avec les chaudières ordinaires.

Il en résulte que ces générateurs sont non seulement appelés à rendre de grands services en marine mais qu'ils sont d'un secours précieux pour les installations de stations électriques établies au milieu des centres habités, en raison de leur très faible encombrement et de leur sécurité absolue. C'est à ce titre que nous avons cru intéressant de les signaler à nos lecteurs.

J. Reyval.

CONGRÈS INTERNATIONAL DE CHIMIE APPLIQUÉE

La semaine dernière, du 23 au 28 juillet, les chimistes ont tenu, à Paris, leur quatrième Congrès international. Le premier Congrès, organisé par l'Association belge des Chimistes, fut tenu à Bruxelles, en 1894. Sa réussite eut pour conséquence la formation d'un second Congrès qui se tint à Paris en juillet 1896 ; ce Congrès, organisé par l'Association des Chimistes de sucrerie et de distillerie, fut particulièrement brillant [1]. Deux ans plus tard un nouveau congrès avait lieu à Vienne. Là, les chimistes se donnaient rendez-vous à Paris pour l'année 1900.

Le Congrès qui vient de se terminer a été non moins brillant que celui de 1896. Attirés par l'Exposition, beaucoup d'étrangers sont venus se joindre à leurs collègues français ; aussi le nombre des communications a-t-il été très considérable, tellement même que dans plusieurs sections toutes n'ont pu être présentées.

Beaucoup de ces communications intéressent indirectement les lecteurs de ce journal, les applications déjà nombreuses de l'électricité à l'industrie chimique et le développement qu'elles paraissent devoir prendre dans un avenir peu éloigné mettant l'électricien dans l'obligation d'étudier la chimie générale et de connaître les desiderata de la chimie appliquée. Dans l'impossibilité de les signaler toutes, nous nous bornerons à donner une analyse de celles qui ont été présentées à la section X, la section d'électrochimie.

Mais auparavant disons quelques mots de l'ensemble du Congrès.

Séance d'ouverture. — La première séance a eu lieu, le lundi 23 juillet, à 10 heures du matin, dans le grand Amphithéâtre de la Sorbonne.

M. Moissan, président du Comité d'organisation [2], après avoir déclaré ouvert le IVe Congrès, adresse ses remerciements au bureau du Congrès de Vienne. En quelques mots il retrace l'histoire des Congrès antérieurs, puis il montre sous une forme humoristique l'utilité de ces congrès que leurs détracteurs se plaisent à regarder comme sujets de promenade et occasions de banquets répétés. En terminant, il remercie les délégués des gouvernements, des sociétés savantes et techniques et tous les congressistes d'avoir répondu en si grand nombre à l'appel des divers comités d'organisation français et étrangers ; enfin il adresse au nom des congressistes ses félicitations au secrétaire général de la

[1] Le compte-rendu du Congrès de 1896 a été donné dans *L'Éclairage Électrique* de juillet et août 1896, t. VIII, p. 214, 254, 314.

[2] La Commission d'organisation était ainsi composée :

Président d'honneur : M. Berthelot, sénateur, ancien ministre, secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences.

Président : M. H. Moissan, membre de l'Institut, professeur à l'Université de Paris.

Vice-président : M. Ed. Durin, président de l'Association des Chimistes de sucrerie et de distillerie.

Secrétaire général : M. F. Dupont, secrétaire général de l'Association des Chimistes de sucrerie et de distillerie.

Membres : MM. P.-P. Dehérain, membre de l'Institut, professeur à l'École nationale de Grignon et au Muséum d'Histoire naturelle; Ch. Gallois, président honoraire de l'Association des chimistes de sucrerie et de distillerie; L. Lindet, professeur à l'Institut national agronomique, ancien président du IIe Congrès international de chimie appliquée, ancien président de l'Association des Chimistes de sucrerie et de distillerie; H. Pellet, chimiste-conseil des sucreries de la raffinerie Say et Cie.

Chacune des dix sections du Congrès comprenait en outre un Comité d'organisation; celui de la section d'électrochimie était composé comme suit :

Président : M. H. Moissan.

Vice-Présidents : MM. Besnard, Bethmont, Bullier, Gall, Lippmann.

Secrétaires : MM. Lebeau, Minet.

commission d'organisation, M. Dupont, qui, de même qu'en 1896, s'est surpassé pour mener à bien la lourde tâche qui lui incombait.

M. M. Berthelot se trouvant empêché par une indisposition d'assister à la séance d'ouverture, le discours qu'il devait prononcer à cette occasion est lu par M. Moissan.

Dans ce discours, M. Berthelot retrace à grands traits l'histoire générale des méthodes chimiques et de leurs progrès en s'attachant à montrer que loin d'être une science purement moderne, la chimie remonte en réalité aux temps les plus reculés. Il nous fait voir que l'antique Egypte pratiquait déjà l'art des transformations chimiques de la matière et que cet art n'y était pas absolument empirique comme on le croit généralement, mais au contraire comportait des méthodes générales que nous révèle l'étude des écrits de l'antiquité venus jusqu'à nous ; c'est cette science antique, transmise en partie directement par la tradition technique des ateliers, en partie par l'intermédiaire des Syriens et des Arabes (lesquels n'y ont guère ajouté, contrairement à des assertions erronées qui ont eu cours jusqu'à ces derniers temps) qui est devenue l'alchimie du Moyen âge. Passant rapidement sur les six siècles qui s'écoulent entre le réveil de l'esprit scientifique et de l'initiative individuelle et les grandioses découvertes de la fin du XVIIIe siècle, M. Berthelot arrive à la chimie moderne dont il rappelle les principes. Ensuite, envisageant en quelque sorte la chimie de l'avenir, il montre comment l'utilisation de l'électricité nous permettra sans doute de réaliser des synthèses insoupçonnées jusqu'ici [1].

---

[1] Voici le passage de son discours où M. Berthelot traite de l'application de l'énergie électrique à la chimie ;

L'électricité nous apporte les procédés les plus convenables et les plus efficaces, tant pour transformer les énergies chimiques en chaleur et en lumière, que pour en faire les agents de nouveaux changements chimiques. C'est ainsi que la découverte de la pile voltaïque, résultat direct de la mise en jeu de certaines réactions chimiques, avait conduit Davy à isoler les métaux alcalins, dès le commencement de ce siècle, et à obtenir la lumière de l'arc électrique. Depuis, l'emploi de la pile avait réalisé les belles industries de la galvanoplastie, de la dorure, de l'argenture, de la nickelure, de la ferrure des métaux. Mais ces premiers progrès ont été étrangement dépassés de notre temps, comme le montrent les nombreuses fabrications que vous exposez cette année. A la pile, productrice chimique coûteuse et limitée d'électricité, une science physique plus profonde a substitué depuis trente ans les appareils électromagnétiques, où l'électricité est engendrée d'une façon plus économique et par des voies purement mécaniques, c'est-à-dire au moyen de moteurs mus soit par l'action du feu, soit par l'action des chutes d'eau. Les quantités d'électricité ainsi produites sont colossales ; elles peuvent être transformées, à leur tour, par des appareils convenables, en toutes sortes d'énergies, et notamment en énergies chimiques, soit d'une façon directe, ou bien indirectement, par l'intermédiaire des énergies calorifiques, reproduites tout d'abord dans le four électrique par l'électricité.

La mesure même de l'énergie utilisée dans les transformations réciproques des actions électriques en actions chimiques et des actions chimiques en actions électriques est fournie par les mesures thermochimiques : en électrolyse particulièrement.

Messieurs, je vous prie d'excuser le développement, trop long peut-être, que j'ai dû donner à ces notions un peu abstraites. Si je l'ai fait, c'est que l'application de ces théories scientifiques a produit un merveilleux ensemble de méthodes nouvelles, nées d'hier et qui opèrent, dans les industries chimiques, la révolution la plus inattendue.

Par voie d'électrolyse directe, à la température ordinaire, la production des alcalis et des acides commence à être réalisée dans les usines et à faire concurrence à ce grand système d'industries, organisé naguère autour de la production de la soude artificielle et qui avait paru pendant si longtemps le dernier mot de la science. Une lutte s'est engagée à cet égard, subordonnée à la question du prix de revient, et dont le dernier mot restera probablement à l'électricité. L'électrolyse des dissolutions fournit encore des méthodes d'oxydation et de réduction d'une fécondité inépuisable. Dès à présent, nous préparons ainsi en grand les hypochlorites, les chlorates, et, permettez-moi d'ajouter, les persulfates, les derniers venus et non les moins utiles.

L'électrolyse des chlorures et autres sels par voie sèche n'a pas été moins féconde. Non seulement le sodium préparé par cette voie deviendra peut-être la source principale de la soude artificielle ; mais, par l'électrolyse, on extrait le métal de l'argile, l'aluminium, à des prix si bas et en quantités telles qu'il menace de remplacer quelques-uns des anciens métaux dans leurs applications industrielles les plus fructueuses. Le four électrique est devenu aujourd'hui, surtout depuis les travaux de M. Moissan, un appareil universel pour la préparation des métaux regardés autrefois comme irréductibles. Le carbure de calcium, obtenu par le concours du four électrique, a permis de préparer à bas prix cet acétylène que j'obtenais si péniblement il y a quarante ans ; il fournit aujourd'hui l'une des

Après la lecture du discours de M. Berthelot, le secrétaire général de la commission d'organision, M. F. Dupont, a communiqué son rapport sur les travaux de cette commission.

Le reste de la séance a été consacré à la nomination des Président, Vice-Présidents et Secrétaires du Congrès et de la Commission internationale d'organisation des futurs congrès ([1]).

Séances de section. — Dès deux heures de l'après-midi du lundi 23 juillet, les congressistes se réunissaient dans leurs sections respectives, élisaient les membres des bureaux de ces sections et commençaient leurs travaux qu'ils continuèrent dans les séances des mardi, mercredi, jeudi et samedi matin et du vendredi après-midi.

Visites, réceptions, banquets, etc. — L'Exposition offrait aux congressistes un champ d'études suffisamment vaste pour que la commission d'organisation n'ait pas cru devoir

---

lumières les plus éclatantes qui existent, en attendant le jour, prochain sans doute, où l'acétylène, origine la plus directe des synthèses de laboratoire, prendra la même destination dans l'industrie et engendrera d'une façon économique la benzine, l'acide oxalique et peut-être l'alcool.

J'ai parlé jusqu'ici de l'électrolyse par voie sèche et par voie humide, mais ce ne sont pas là les seules formes sous lesquelles l'électricité soit appelée à jouer un rôle en chimie : il y a encore la décharge disruptive (étincelle ou arc), et l'effluve électrique. A l'action de l'étincelle et de l'arc se rattachent la vieille et belle synthèse de l'acide azotique par Cavendish et, dans un ordre plus moderne, la synthèse de l'acétylène et de l'acide cyanhydrique par leurs éléments; l'arc est, d'ailleurs, l'agent essentiel du four électrique.

Les applications de l'effluve ou décharge silencieuse ont été jusqu'ici plus limitées; dans l'industrie, elle n'est guère employée que pour fabriquer l'ozone, substance dont les applications se multiplient dans l'ordre hygiénique. Mais ce n'est là qu'un point de départ; en effet, les réactions de l'effluve ont acquis dans l'ordre purement scientifique une importance et une étendue qui ne tarderont guère sans doute à entrer dans la pratique. C'est surtout la fixation universelle de l'azote libre par les composés organiques qui me paraît appelée à un grand avenir. Elle est si intense, si facile, accomplie avec une consommation d'énergie de nature à être si bien réglée et limitée, que l'effluve constituera probablement la méthode essentielle pour fixer l'azote atmosphérique, au jour, sans doute prochain, où l'art des laboratoires entrera en concurrence, à la fois avec la nature végétale, qui fabrique les composés organiques azotés, et avec la nature minérale, qui fournit aujourd'hui les azotates à l'industrie et à l'agriculture. Je ne veux pas insister davantage sur la fixation de l'azote, appelée peut-être à concourir dans un avenir plus ou moins éloigné à la fabrication de toutes pièces de ces matières alimentaires que l'homme n'a su jusqu'ici emprunter qu'aux êtres vivants. Ici, comme dans tous les ordres, la synthèse chimique suscite des espérances illimitées. Non seulement elle est appelée à rivaliser avec la production insuffisante ou trop coûteuse des composés naturels, comme vous le montrez avec tant d'éclat par la reproduction de l'alizarine, de l'indigo, des parfums naturels et, dans un avenir auquel nous touchons, par celle des alcaloïdes thérapeutiques : non seulement la synthèse est destinée à suppléer à l'épuisement de tant de matières premières accumulées dans le sein de la terre par l'épargne spontanée des siècles et que l'industrie consomme avec une rapidité terrifiante : surtout pour les peuples dont la prospérité est fondée sur l'utilisation de ces réserves naturelles. Mais la synthèse, par un développement insoupçonné autrefois de la puissance créatrice du génie scientifique, la synthèse tire chaque jour du néant, pour le plus grand bien de l'humanité, une multitude inépuisable de corps nouveaux, semblables et supérieurs aux produits naturels. Mieux que la magie mystérieuse, mieux que la foi antique, la Science moderne soulève les montagnes et réalise les rêves et les miracles.

([1]) Ont été élus :

Président d'honneur : M. Berthelot.

Président : M. H. Moissan.

Vice-Présidents : MM. Durin et Lindet.

Vice-Présidents d'honneur pour l'étranger : MM. Emile Fischer, Merker, Dr Herzfeld, Dr Weding, Dr von Grueber, Dr Claussen, Dr Ludwig, F. Strohmer, Dr Léo Liebermann, Zeuger, Vilem Baur, Klaady, de Konink, Bruglants, André Gorissen, Sachs, Ventre-Pacha, Doremus, Wiley, Rising, Chaudler, Klarcke, Thomas-Edward Thape Walter G. Reid, Gordon Salomon, Cannizzaro, Paterno, Piutti, Menozzi, Gabba, Viborgh, Sœrensen, Peterson, Vincente de Laffite, Christomanos, Fernando Ferrari, Perez, Lobrej de Bruyn, Pereira da Silva, Dr Ch. Istrati, Mendeleef, Kournakow, Konovaloff, Tavildarof, Grœbe, Lunge, Chuard, Landolt.

Vice-Présidents d'honneur pour la France :

MM. Carnot, Dehérain, Duclaux, Ditte, Armand Gautier, Hautefeuille, Lippmann, Lemoine, Müntz, Schlœsing, Troost, Général Sebert, Haller, Etard, Riche, Gallois.

Secrétaire général : M. F. Dupont.

mettre de visite d'usines dans le programme du Congrès. Toutefois, à la suite de la réception par le ministre de l'Instruction publique et des Beaux-Arts, qui eut lieu à la Sorbonne, dans l'après-midi du lundi 23 juillet, les congressistes visitèrent les divers laboratoires de MM. Troost, Haller, Lippmann, Riban, Dastre, etc.

Les visites à l'Exposition se firent, en général, individuellement; une seule visite collective eut lieu dans l'après-midi du mardi 24 juillet, la plupart des congressistes se trouvant réunis au Champ de Mars, à l'occasion du banquet qui eut lieu ce même jour, à midi, au restaurant Lyonnais. Les membres de la section d'électrochimie parcoururent les galeries du premier étage du Palais de l'Électricité et visitèrent l'annexe consacrée à l'industrie électrochimique. Quelques-uns allèrent ensuite, sous la conduite de M. Besnard, président de la classe 75, visiter l'exposition des appareils générateurs d'acétylène, à l'annexe de Vincennes.

L'après-midi du mercredi 25 juillet fut consacrée à la visite de l'Institut Pasteur; cette visite fut suivie d'une réception à l'Hôtel de Ville.

Le lendemain, un grand nombre de congressistes visitèrent, malgré l'accablante chaleur, le vaste domaine académique de Chantilly.

Dans la matinée du vendredi 27 eut lieu l'inauguration solennelle de la statue de Lavoisier, œuvre du statuaire Barrias et de l'architecte Guerhart, érigée sur la place de la Madeleine. A cette inauguration, M. Berthelot rappela, dans un remarquable discours, les principaux travaux de l'homme de génie et de l'homme de bien que fut le fondateur de la chimie moderne. Ensuite M. Moissan, au nom du Comité international de la statue de Lavoisier, dont il est le secrétaire, adressa ses remerciements aux savants de toutes les nations qui, par leur souscription, ont contribué à l'érection de cette statue. M. Leygues, ministre de l'Instruction publique, retraça la carrière politique et publique de Lavoisier.

Le lendemain samedi, les congressistes assistaient à la séance de clôture qui eut lieu dans le grand amphithéâtre de la Sorbonne, sous la présidence de M. Moissan et après s'être donné rendez-vous à Berlin, en 1903, se dirigeaient vers l'hôtel Continental pour prendre part au banquet offert aux membres des comités d'organisation et de patronage et aux délégués des gouvernements et sociétés savantes, et présidé par M. Leygues, ministre de l'Instruction publique.

La section d'électrochimie. — Revenons maintenant à la section d'électrochimie (1).

Les travaux présentés à cette section sont ou des rapports demandés par le comité d'organisation, ou des communications dues à l'initiative privée des membres de la section. Leur nombre (2) montre que de tous côtés les questions d'électrochimie sont tra-

---

(1) Le Bureau de cette section, nommé à l'ouverture de la première séance, était ainsi constitué.

Président : M. Henri Moissan.

Vice-Présidents : MM. Bancelin, Besnard, Bernard, Bethmont, Bullier, Carletti, Gall, Guntz, Korda, Liebermann, Lippmann, Peterson, von Gruber.

Secrétaires : MM. Lebeau, Minet.

(2) Voici le texte de ces rapports et communications :

Séance du lundi 23 juillet à 2 heures

Gin. — Rapport sur l'utilisation des forces motrices en Autriche-Hongrie et l'industrie du carbure de calcium.

Besnard. — Rapport sur les différents appareils à acétylène admis à l'Exposition Universelle.

Lebeau. — Sur les siliciures de fer.

Séance du mardi 24 juillet à 9 heures du matin.

Marie. — Rapport sur l'état actuel de l'industrie des produits organiques préparés par électrolyse.

vaillées, ce qui est d'un bon augure pour l'avenir de l'industrie électrochimique. Malheureusement, la plupart de ces rapports et communications ne nous fournissent pas beaucoup de renseignements techniques nouveaux ; seuls les renseignements statistiques sont assez abondants. Malgré l'intérêt que présentent ceux-ci par eux-mêmes, les premiers les eussent complétés avantageusement. Nous en avons entendu faire l'observation par plusieurs des membres du Congrès, et quelques-uns des rapporteurs ont dû s'excuser de n'avoir pu donner à leurs rapports le caractère technique qu'ils espéraient, les industriels s'étant énergiquement refusés à leur fournir des renseignements. Il serait évidemment illogique de la part des industriels de faire connaître des tours de main qui leur ont beaucoup coûté et qui leur assurent un avantage sur leurs concurrents. Mais il est indéniable qu'en se renfermant systématiquement dans le mutisme le plus absolu, ils agissent dans bien des cas contre leur propre intérêt en empêchant des découvertes qui contribueraient au bien de

---

Mathews. — Rapport sur l'industrie du carbure de calcium en Amérique.
Rossel. — Rapport sur l'industrie du carbure de calcium en Suisse.
Brochet. — Electrolyse des solutions concentrées de chlorure de potassium pour la formation des hypochlorites.
Dupont. — Extraction et préparation par électrolyse des différents sucs contenus dans les végétaux.
Commelin. — Accumnlateurs Viau et Commelin.

Séance du mercredi 25 juillet à 9 heures du matin.

Moissan. — Sur le carbure de calcium pur et sur les carbures de néodyme, de praséodyme et de samarium.
Lacroix. — Transport par eau et par chemin de fer du carbure de calcium.
Sabatier. — Action de divers métaux sur l'acétylène; hydrogénation de l'acétylène en présence de divers métaux.
N. Teclu. — Sur les appareils à production d'ozone.
Fourchotte. — Gazogène à acétylène.
Deroy. — Gazogène à acétylène.
De Montais. — Gazogène à acétylène.
Fouché. — Sur l'application de l'éclairage à l'acétylène dissous dans l'acétone.

Séance du jeudi 26 juillet à 9 heures du matin.

Minet. — Rapport sur l'électrochimie en 1900.
Clerc. — Rapport sur les fours électriques. Préparation des métaux et alliages. Fours continus pour la fabr'cation du carbure de calcium.
Palmaer. — Rapport sur l'utilisation des forces motrices en Suède.
Peyrusson. — Sur un nouvel électrolyseur.
Hubou. — Préparation et propriété du noir d'acétylène.
Hollard. — Principes de l'analyse électrolytique et de l'analyse du cuivre industriel.
Zenghelis. — Sur les changements du potentiel électrique pendant les réactions chimiques.

Séance du vendredi 27 juillet à 2 heures

Marie. — Méthode de dosage électrolytique des composés insolubles du plomb.
Leblanc (Dr Max). — Proposition de désignations unitaires fondamentales en électrochimie.
Verbno-Laszgynski. — Accumulateur zinc-alcali-nickel.
Lacroix (Paul.) — Appareil producteur d'acétylène.
Christomanos. — Action du magnésium brûlant à la surface du marbre.
Otto (Marius). — Ozoneurs.
Stock. — Recherches sur les siliciures de bore.

Séance du samedi 28 juillet à 9 heures.

Moissan. — Recherches récentes sur les propriétés du fluor.
Defacqz. — Rapport sur les méthodes d'analyse de l'aluminium industriel.
Meslans et C. Poulenc. — Sur un appareil industriel pour la préparation du fluor.
Fischer. — Préparation du tétrasulfate de plomb.
Guichard. — Préparation de la fonte de molybdène.
Defacqz. — Préparation d'une fonte de tungstène.
Lebeau. — Sur le phosphure de calcium.
Macé (P.). — Appareil à acétylène.

tous. C'est d'ailleurs l'opinion de M. Lunge qui, à propos d'une communication de M. Guillet à la section II, disait que « beaucoup de choses pourraient être communiquées avec avantage aux gens compétents » ; c'est aussi celle de M. Hasenclever qui, à la suite de la même communication, disait : « qu'il vaut toujours mieux faire voir que cacher, sauf en ce qui concerne les procédés n'ayant pas encore fait leurs preuves ».

En attendant que cette opinion soit partagée par tous les industriels (et suivant M. Granger, les industriels français seraient les plus irréductibles), glanons ce que ceux-ci ont bien daigné faire connaître et donnons l'analyse des communications que nous avons entendues ou dont les auteurs ont bien voulu nous csmmuniquer les textes.

L'électrochimie en 1900

Le rapport de M. A. Minet sur cette question est divisé en trois parties : historique, état actuel de l'industrie électrochimique, notes bibliographiques.

Dans la première partie, l'auteur rappelle que jusqu'en 1867 l'électrochimie ne comprend guère que la fabrication des piles primaires et la galvanoplastie. En 1878, l'électrochimie commence à s'affermir comme industrie et à cette époque, M. Fontaine donne à l'affinage des métaux une grande impulsion. En 1889, l'électrochimie s'enrichit de l'électrométallurgie par voie sèche dans laquelle on utilise deux sortes de réactions : les réactions électrolytiques qui sont appliquées à la préparation de l'aluminium (Minet 1887, Hall 1888, Héroult et Kiliani 1889), du sodium (Grabau 1889 et Borchers 1890), du magnésium (Gretzel), du lithium (Hiller et Grüntz), du glucinium (Lebeau) ; les réactions électro-thermiques avec lesquelles on produit la fusion des métaux (Siemens 1879), les alliages ferro-aluminium (Kolz 1885), les alliages de cuivre et d'aluminium (Héroult 1886), la transformation du carbone en graphite (Girard et Street 1893), le carborundum (Acheson), les carbures, borures, siliciures métalliques (Moissan 1892).

Dans la seconde partie de son rapport, M. Minet donne de nombreux tableaux indiquant les noms, emplacements, puissances et produits de différentes usines électrométallurgiques de France et des pays étrangers ; une grande partie des renseignements contenus sont puisés dans les articles de Borchers qui ont déjà été analysés dans ce journal [1]. Nous nous bornerons donc à indiquer que, d'après M. Minet, le nombre des usines françaises est de 93, le nombre des usines de tous les autres pays du monde ne s'élevant qu'à 161. Les 93 usines françaises sont divisées ainsi : 4 usines d'affinage du cuivre, 9 usines de galvanoplastie, 5 usines ou laboratoires où l'on fait l'électro-métallurgie par voie sèche, 19 usines à carbure de calcium, 1 à carborandum, 3 à chlorate de potassium, 6 à soude, chlore et dérivés, 3 à ozone, 5 où l'on fabrique plus spécialement le matériel et l'appareillage nécessaires à l'électrolyse, 3 usines à charbons électriques, 6 usines de construction de piles primaires, 19 de construction d'accumulateurs et enfin 7 usines de construction de machines dynamos utilisées par l'industrie électrochimique.

Dans la bibliographie qui forme la troisième et dernière partie du rapport, M. Minet donne la liste des ouvrages concernant l'électrochimie récemment parus.

L'industrie du carbure de calcium en Autriche-Hongrie

Le rapport de M. Gin sur cette question est présenté à la section d'électrochimie dans sa première séance du lundi 23 juin.

---

[1] Voir t. XXII, p. 231, et t. XXIII, p. III ; Voir aussi t. XXII, p. 212.

Le rapporteur commence par faire remarquer que l'utilisation des chutes d'eau de l'Autriche-Hongrie, si abondantes en certaines régions de ce pays, est la conséquence directe de l'installation de nouvelles usines électrochimiques. Actuellement, une puissance de 23 500 chevaux est utilisée et l'on prévoit l'utilisation prochaine d'une puissance tatale de 79 500 chevaux (1).

M. Gin décrit ensuite avec détails les usines électro-chimiques. Il commence par l'*usine de Méran*, la première qui ait été installée en Autriche-Hongrie et qui exploite les procédés de Gin et Lebrun pour la fabrication du carbure de calcium. Nous ne reviendrons pas sur la description de cette usine qui a été donnée, avec détails, dans ce journal [2].

L'*usine de Paternion*, appartenant à la Société d'électrochimie de Venise, est située sur la rive droite du Krenznerbach, à peu près à 5 km du confluent de cette rivière avec la Drau. Aux environs de l'usine existent des carrières de pierres calcaires qui donnent de la chaux d'une très bonne qualité.

La hauteur de chute utilisable est de 62,30 m ; le débit est de 1 400 litres aux plus basses eaux, et de 2 100 litres au plus hautes eaux. Cette eau est amenée par un tunnel de 30 m de longueur, une canalisation en tôle de 1 m de diamètre et 60 m de longueur, un second canal de 385 m de longueur et enfin une canalisation en tôle de 1 m de diamètre et de 58 m de longueur.

Cette eau est utilisée par trois turbines de 400 chevaux ; deux seulement d'entre elles sont en marche au moment des basses eaux. Chaque turbine commande directement un alternateur triphasé donnant une tension de 60 volts, avec une vitesse de 350 tours : m.

Deux machines à billes permettent de pulvériser respectivement 4 000 kg de chaux et 2 500 kg de charbon par jour. De ces moulins les matières pulvérisées sont amenées au moyen de wagonnets à une balance automatique, puis transportées au moyen de deux élévateurs dans un malaxeur à vis d'Archimède où s'effectue le mélange. Du malaxeur le mélange tombe dans la trémie d'alimentation des fours électriques ; cette trémie est placée au-dessus de la salle de refroidissement, et la chaleur abandonnée par le carbure en se refroidissant est en partie utilisée à enlever l'humidité des matières premières. Deux moteurs électriques, l'un de 16 chevaux, l'autre de 12 chevaux actionnent les différents appareils mécaniques.

La salle des fours a une longueur de 40 m et une largeur de 11,50 m. Neuf fours doubles sont en service, l'emplacement nécessaire à l'installation de trois autres fours

(1) Les chutes captées dans ces dernières années sont les suivantes :

Meran sur l'Etsche	7 000	chevaux
Paternion sur le Krenznerbach	600	»
Lend-Gastein sur le Teifenbach	4 000	»
Mattrei sur le Sill affluent de l'Inn (Tyrol)	1 500	»
Jaïce (Bosnie) sur la Pliva	8 000	»
Lobkovice (Bohême) sur l'Elbe	400	»
Kerka (Hongrie) sur la rivière du même nom	2 000	»
Les autres chutes dont l'installation est projetée sont :		
Pretrozeny à la rencontre des Szill Bulgare et Transylvanien où se trouvent deux chutes distinctes de	5 000 et 7 000	»
Almissa (Dalmatie) sur la Cetina	50 000	»
Une dérivation prise sur la même rivière à Krajelvac donnera une seconde chute de	6 000	»
Total	79 500	chevaux

dont la captation est réalisée ou projetée.

(2) Voir t. XIII, p. 172, 6 mai 1899.

doubles a été réservé. Chaque four dépense 125 chevaux ; trois fours doubles reçoivent l'énergie d'un même alternateur.

L'*usine de Lend-Gastein* est située près de l'embouchure du Teufenbach, au bas de la chute Gasteiner-Ache qui, tombant d'une hauteur de 63 m lui assure une puissance de 4 000 à 5 000 chevaux. Elle fabrique de l'aluminium et du carbure de calcium. L'installation hydraulique a été faite par MM. Escher, Wyss et C[ie]. Il n'a pas été possible d'obtenir de renseignements sur le matértel de fabrication du carbure de calcium.

L'*usine de Matter* qui appartient à Allgemeine Carbid und Acetylen Gesellschaft de Berlin est située sur la ligne de Bozen à Innspruck à 8 km de cette dernière ville.

L'usine se trouve dans une gorge très resserrée dans laquelle débouche le Sill qui lui fournit une puissance de 1 500 à 2 000 chevaux.

Le Sill est un torrent impétueux qui descend du Brenner et se jette dans l'Inn.

Les turbines ont été fournies par la maison Ganz de Budapesth, le matériel électrique et les fours par la maison Siemens et Halske.

L'usine a la forme d'un vaste quadrilatère, avec un four à chaux annulaire occupant un des angles.

L'*usine de Jaïce* est la propriété de la Bosniche Elektricitäts Aktien Gesellschaft. Elle est située près de la ville de Jaïce où la Pliva se jette dans le fleuve Verbas. La Pliva traverse le lac « Oberen Pliva See » et en sort en impétueuses cascades qui se précipitent dans le Unteren Pliva See.

Ces chutes offrent un paysage d'une surprenante beauté et certainement l'un des plus grandioses qui soient en Europe.

Le barrage de prise d'eau est établi à la sortie du lac supérieur. L'avant-canal a plus de 3 km de longueur, il arrive jusqu'au-dessus de l'usine en traversant 15 tunnels d'une section de 4 m de largeur sur 3,70 m de hauteur.

A la fin de l'avant-canal se trouve une vaste chambre d'eau d'où partent 2 conduits en tôle de fer de 1,50 m de diamètre.

La chute débitant à plein canal peut fournir une puissance totale de 9 500 chevaux.

La force motrice est fournie par 8 turbines de 1 000 chevaux chacune, construites par la maison Ganz et C°, de Budapest.

Le matériel électrique et les fours à carbure de calcium ont été fournis par la maison Schuckert.

Les débuts de cette puissante usine ne semblent pas avoir été très encourageants et de grandes modifications sont projetées dans le matériel de fabrication.

L'usine de Lobkovice est installée sur l'Elbe en un seul bâtiment qui comprend la salle des machines, avec massifs pour les dynamos, la salle des fours électriques, la salle du broyage, magasin et accessoires.

La force motrice est produite par 3 turbines qui ont été calculées de manière à fonctionner avec un débit de 10,4 m³ à la seconde sous une chute de 1,5 m, ou 11 m³ sous une chute normale de 1,40 m ; chaque turbine peut donc fournir une puissance de 100 chevaux minimum et 150 chevaux maximum, avec une vitesse de 22,5 tours : m.

La force totale utilisée est donc de 300 chevaux minimum et 450 maximum.

Le matériel électrique se compose d'un alternateur biphasé de 300 kilowatts et d'une excitatrice de 15 klowatts. Dans la salle des fours sont installés 2 fours électriques avec régulateur de fonctionnement des électrodes.

Au début de la mise en route de l'usine, la marche des fours était intermittente et l'on fabriquait du carbure coulé et en pains ; par suite du système de four adopté, on a été

obligé de renoncer à la première de ces deux fabrications. Le carbure actuellement produit à l'usine provient de la fabrication en pains ; les blocs produits ont un poids moyen de 230 kg et, suivant la force disponible, sont de 3 à 4 par jour, ce qui donne une production de 700 à 900 kg.

Des analyses prélevées sur chaque pain de carbure, il résulte un rendement variant entre 290 et 300 litres de gaz acétylène sous une pression de 760 mm et à une température de 15° centigrades.

Les matières premières parvenues à l'usine reviennent au prix de 22,60 fr la tonne de chaux et 58 fr la tonne de coke.

La production annuelle de l'usine, qui s'élève à environ 300 tonnes, est entièrement consommée en Bohême. Cette prodnction n'est que le tiers de la consommation de la Bohême, le restant est importé des usines de Meran, Jaïce, Lend Gastein.

L'usine de Petrozeny destinée à la fabrication du carbure de calcium est en projet. La chute de Petrozeny, qui a été étudiée par M. Gin, appartient à l'Acetylen Gas Actien Gesellschaft, de Vienne ; elle est formée en aval de Petrozeny par les rapides du Szill hongrois, dont le débit varie entre 14 et 30 m³. La hauteur de chute est de 23 à 24 m à l'étiage et de 22 m pendant les hautes eaux.

Le régime du cours d'eau est le suivant :

Débit minimum.	13 m³ pendant 3 mois
Débit intermédiaire.	20 — 2 mois
Débit des hautes eaux.	26 et plus pendant 7 mois

Dans ces conditions, la puissance disponible serait de 3 000 chevaux pendant trois mois, 4 400 pendant deux mois, et 5 700 pendant sept mois, soit une moyenne de 4 800 chevaux utilisables.

En dessous de cette chute et après la réunion des Szill bulgare et transsylvanien se trouve une deuxième chute de 7 000 chevaux que l'on se propose d'utiliser pour la fabrication de la soude caustique.

Les *usines d'Almissa* sont également en projet. La grande chute d'Almissa appartient à un syndicat comprenant le groupe belge de l'alumine, la maison Ganz de Budapest, etc. Elle serait obtenue par une dérivation de la Cetina au moyen d'un tunnel de 8 km. La puissance, de 50 000 chevaux environ, serait destinée à être consommée par diverses industries électrochimiques. Rien n'est encore certain au projet de l'aménagement de cette chute qui exigera des capitaux fort importants.

La deuxième chute d'Almissa ou plutôt la chute de Krajelvac a été concessionnée à MM. Descovics, de Szepczynski et Gin. La puissance sera de 6 000 chevaux obtenus par une différence de niveau de 90 m de hauteur. Elle sera utilisée par une usine centrale installée au bas de la chute, et transmise par courants triphasés à 12 000 volts jusqu'au port même d'Olmissa où sera installée l'usine de carbure.

L'industrie du carbure de calcium aux États-Unis et au Canada

Le rapporteur, M. John A. Mathews, revendique en faveur de son compatriote, M. Wilson, l'honneur de la découverte du carbure de calcium. « C'est en 1894, dit-il, que M. Thomas L. Wilson découvrit que le carbure de calcium se produisait dans quelques-unes de ses expériences sur la réduction des oxydes réfractaires dans le four électrique, et entre juin et décembre 1895 il obtint aux États-Unis des brevets protégeant la manufacture du produit, les méthodes de sa conversion en acétylène, et en général, pro-

tégeant l'utilisation pour l'éclairage de l'acétylène seul ou mélangé avec d'autres gaz. »

- Exposant ensuite l'historique du développement de l'industrie du carbure de calcium aux Etats-Unis, M. Mathews nous apprend que de 1895 à 1898 cinq ou six usines à carbure furent installées dans ce pays. Ces usines étaient plutôt destinées à des essais qu'à une marche industrielle ; en 1897 leur production globale fut de 1925 tonnes représentant une valeur de 673 750 fr. En mai 1898, la Union Carbide Company acheta ces usines et cette compagnie détient depuis cette époque le monopole de la fabrication du carbure aux États-Unis.

Le premier soin de la Union Carbide Co fut de concentrer la fabrication du carbure dans deux usines seulement : celle de Niagara Falls et celle de Sault Sainte-Marie ; encore cette dernière ne produit-elle que fort peu de carbure. La presque totalité du carbure consommé aux États-Unis se trouve donc fabriquée à l'usine de Niagara Falls ; quant aux nombres exacts de tonnes de carbure livrées par cette usine en 1898 et en 1899, la Union Carbide Co les tient secrets. Le rapporteur a pu cependant savoir que cette usine n'utilise à cette fabrication que moins de la moitié de la puissance de 25 000 chevaux électriques dont elle dispose, que pendant la plus grande partie de l'année 1898 la marche de l'usine était plutôt expérimentale que commerciale, et qu'actuellement la production est d'environ 1 000 tonnes par mois.

Le prix de vente du carbure est de 350 fr la tonne pour des commandes d'au moins cinq tonnes ; pour des quantités plus faibles, la tonne est vendue en moyenne 450 fr.

La dépense d'énergie est d'environ 300 $\times$ 24 chevaux-heure (soit 300 chevaux pendant 24 heures) pour la production d'une tonne de carbure. Cette dépense varie d'ailleurs avec la façon dont le four est conduit ; elle augmente quand l'intensité du courant augmente et la tension aux bornes diminue. Le prix de revient d'une tonne de carbure est estimé à 190 fr au plus.

Les fours employés à Niagara sont du système Horrey. Ils sont au nombre de 120, Ces fours sont discontinus mais des essais sont faits actuellement en vue de les rendre continus.

Le carbure fabriqué à Niagara Falls est d'excellente qualité. Les vendeurs garantissent la production de 5 pieds cubes d'acétylène par livre de carbure (soit 145 litres par 453 gr, ou 312 litres par kilogramme), mais la production réelle de gaz est toujours supérieure à ce chiffre.

Le carbure trouve actuellement un débouché important dans les États de l'Ouest pour l'éclairage d'un grand nombre de localités qui n'ont ni gaz naturel, ni usine à gaz, ni station électrique.

Au Canada il n'y a jusqu'ici que deux usines de carbure, l'une à Sainte-Catherine, l'autre à Ottawa. La première, qui dispose d'une puissance de 1 200 chevaux, produit 1 200 tonnes de carbure par an ; la seconde, mise tout récemment en marche disposera d'une puissance de 5 000 chevaux. Dans l'une et dans l'autre on se sert de fours Wilson à électrode centrale, le creuset servant de seconde électrode. Le carbure fabriqué à Sainte-Catherine donne environ 290 litres d'acétylène par kilogramme de carbure.

En terminant, M. Mattews se plaint des conditions quelquefois absurdes et toujours très onéreuses qu'imposent les compagnies d'assurances aux propriétaires d'usines et de dépôts de carbure, conditions qui empêchent le développement de l'industrie du carbure. L'ex-

portation de ce produit se trouve également empêchée par les exigences de la plupart des lignes de navigation.

A la suite de la lecture de ce rapport, M. Moissan prend la parole. Il fait remarquer qu'il avait indiqué la formation du carbure de calcium le 12 décembre 1892, tandis que le premier brevet de M. Wilson n'a été rendu public que le 21 février 1893 et que d'après ce brevet M. Wilson n'a cherché « qu'à surmonter les difficultés pratiques provenant dans le four d'un bain en fusion, » ce qui élimine toute possibilité de fabriquer du carbure de calcium. Il rappelle également cette conclusion du brevet de M. Wilson : « J'ai appliqué mon invention à la réduction d'autres métaux que l'aluminium. Je la crois applicable à la réduction des métaux suivants : baryum, calcium, manganèse, strontium, magnésium, titane, tungstène et zirconium, » qui n'indique nullement la fabrication du carbure de calcium. Aussi M. Moissan fait-il toutes ses réserves au point de vue de la validité des brevets de M. Wilson [1].

L'industrie du carbure de calcium en Suisse

Dans son rapport, M. A. Rossel fait ressortir l'influence considérable qu'a eu l'industrie du carbure de calcium sur le développement de l'utilisation des chutes d'eau en Suisse.

« Jusqu'à l'époque de la découverte du carbure de calcium, dit-il, les forces hydrauliques étaient peu utilisées, il n'y avait alors que deux usines électrochimiques importantes : celle de Neuhausen qui utilisait une partie de la chute du Rhin à Neuhausen (Schaffhouse) pour la fabrication de l'aluminium, et l'usine de Vallorbes fabriquant plusieurs produits électrochimiques, entre autres du chlorate de potassium.

» C'est dans cette dernière usine que furent fabriqués sur l'initiative de son directeur M. Boucher, les premiers pains de carbure, livrés au commerce. Neuhausen suivit bientôt et peu après la fabrique d'aluminium de Luterbach était transformée en fabrique de carbure.

» Les débuts de la fabrication ayant été heureux et la demande surpassant de beaucoup l'offre, de forts capitaux furent mis à la disposition de l'industrie pour capter les forces motrices en Suisse. La compagnie de Neuhausen augmenta le nombre de ses machines, et construisit Rheinfelden ; celle de Luterbach se transformait en société d'électrochimie et captait le Rhin dans la Via Mala à Thusis (Grisons) ; Siemens et Halske, en collaboration avec la Société électrique de Wynau, construisaient une fabrique de carbure à Langenthal ; la Société genevoise d'Electricité et de Produits chimiques installait une usine à Vernier, près de Genève ; la Société valaisane de l'Industrie s'installait pour utiliser les forces de la Pisse-Vache ; une seconde société endiguait dans le même but la Lonza ; on construisait l'usine de Nidau, actionnée par l'Aar à Hagneck (Berne) ; enfin les usines de Pestl Sparry à Flums (Saint-Gall) et celle de la société de Gurnellen (Uri) étaient créées.

» Les millions pleuvaient grâce aux dividendes de la société de Neuhausen et la forte demande de carbure aux deux usines de Luterbach et de Langenthal qui ne pouvaient suffire à la demande. »

Le rapporteur donne ensuite quelques renseignements succincts sur les diverses usines qui viennent d'être citées ; il s'excuse d'ailleurs de n'avoir pu les obtenir plus complets.

---

[1] Voir à ce sujet : A. Rigault. A propos du carbure de calcium, *Écl. Élect.*, t. III, p. 555.

Les usines de Neuhausen emploient pour la fabrication du carbure 2000 à 2500 chevaux répartis dans deux usines ; une partie de l'énergie est fournie par le courant continu, une autre par des courants biphasés.

La fabrication de l'aluminium étant actuellement très poussée, l'énergie utilisée à la fabrication du carbure est d'ailleurs assez variable.

L'usine de Vernier utilise une puissance de 7000 chevaux fournie par les alternateurs biphasés de l'usine génératrice de Chèvres. Des transformateurs de 200 chevaux abaissent la tension primaire de 2000 volts à celle qui est nécessaire pour l'alimentation des fours. Ceux-ci sont au nombre de 13, dont 12 de 500 chevaux et 1 de 1000 chevaux.

L'usine de Langenthal a été détruite par un incendie le 5 juin 1900. Elle avait été installée en 1897 par Siemens et Halske et était exploitée en commun par ces constructeurs et la Société électrique de Wynau dont les installations proviennent également de Siemens et Halske.

Les courants triphasés primaires conduits par une canalisation d'environ 6 km de longueur étaient transformés par trois transformateurs fournissant 3000 ampères sous 45 volts. Les fours, au nombre de trois, fournissaient environ 500 tonnes de carbure par an. Ils présentaient cette particularité que les électrodes se trouvaient maintenues automatiquement à la distance convenable.

L'usine de Lonza établie à Gampel (Valais), utilise deux chutes créées sur la rivière Lonza. La chute inférieure de 115 m de hauteur actionne 5 turbines de 500 chevaux chacune, couplées directement à des alternateurs biphasés à basse tension ; la seconde chute de 225 m de hauteur actionne 10 turbines de 500 chevaux couplées directement à un nombre égal d'alternateurs biphasés à haute tension. Les 2500 chevaux fournis par la première chute sont utilisés directement pour la fabrication du carbure. Sur les 5000 chevaux fournis par la seconde chute, la moitié seulement est utilisée dans le même but après transformation.

L'usine de Vernoya appartient à la Société Industrielle du Valais, actuellement en liquidation ; la canalisation et les turbines sont installées pour une puissance de 4500 chevaux, mais jusqu'ici 900 chevaux seulement ont été utilisés par l'usine à carbure. Celle-ci est située à environ 1 km de la station hydraulique, près de la gare de Vernoya à laquelle elle est raccordée. Les fours utilisés sont ceux de la Gold und Silber Sheide Anstallt de Francfort. La fabrication a commencé en septembre 1899. Les sommes dépensées jusqu'ici s'élèvent à 1850000 fr.

Les usines de Flums (Saint-Gall) et de *Gurtnellen* (Uri) appartenant à P.-H. Sparry sont actuellement en construction ; elles disposeront d'une puissance de 9000 chevaux environ.

L'usine de Luterbach appartenant à la Société suisse d'Electrochimie, fabrique du carbure depuis 1896. Au début, l'énergie était fournie par le canal de l'Aar et de l'Emme ; plus tard on utilisa en outre l'énergie électrique fournie par l'usine génératrice de Wynau. Le matériel est le même qu'à Langenthal.

L'usine de Thusis (Grison), appartenant aussi à Société suisse d'Electrochimie a été construite sur le modèle de celle de Luterbac. L'installation hydraulique permet d'obtenir une puissance de 6000 chevaux : 3000 sont utilisés pour la fabrication du carbure et 500 pour l'éclairage électrique. L'usine contient 12 fours d'une puissance individuelle de 250 chevaux.

L'usine de Nidau reçoit son énergie de l'usine génératrice de Hagneck située à 8 km de distance, à l'endroit où se jette la nouvelle Aar dans le lac de Bienne, le cours de l'Aar ayant été récemment modifié pour abaisser le niveau des lacs de Neufchâtel, de Bienne et

de Morat. L'usine génératrice fournit 5 000 chevaux dont 1 800 sont livrés à la fabrique de calcium.

Dans la seconde partie de son rapport, M. Rossel donne quelques renseignements sur les matières premières nécessaires à la fabrication du carbure. La Suisse possède des calcaires très purs qui donnent de la chaux à 99 p. 100 de pureté ne contenant aucune trace d'acide phosphorique. Le charbon est importé en totalité d'Allemagne et de France ; pour cette raison on le choisit d'excellente qualité. Le carbure livré est garanti comme donnant au minimum 290 litres d'acétylène mesuré à 15° C et 76 cm par kg, mais en général on obtient 300 et même 310 litres par kg.

Passant aux débouchés du carbure de calcium, le rapporteur exprime le désir de voir ceux-ci s'étendre rapidement, car, pour le moment l'offre est supérieure à la demande. A la vérité, les installations d'éclairage par l'acétylène sont en voie de développement, tant pour l'éclairage public que pour l'éclairage des filatures et autres usines. Le carbure suisse ne contenant pas de phosphure de calcium présente d'ailleurs l'avantage de donner de l'acétylène n'ayant besoin comme épuration que d'un simple lavage à l'eau. En terminant, l'auteur signale un détail de fabrication de l'acétylène qui n'est pas sans importance. D'après les expériences faites par M. Landriset, chimiste et directeur technique des usines de Vernier, il résulte en effet qu'en préparant l'acétylène par la chute du carbure dans une grande quantité d'eau, le gaz obtenu ne contient pas du tout d'hydrogène sulfuré, tandis que préparé par la chute de petites quantités d'eau sur le carbure, ce dernier gaz se trouve en assez grande quantité dans l'acétylène pour donner, avec l'acétate de plomb, un précipité abondant de sulfure. Il suffirait donc, d'après ces résultats, d'employer des gazogènes à chute de carbure dans l'eau pour obtenir immédiatement de l'acétylène à un grand degré de pureté. Quant à l'explication de ces résultats, M. Rossel pense qu'elle est la suivante : Quand le carbure est mis au contact d'une petite quantité d'eau, la chaux formée ne s'hydrate pas et ne se combine pas à l'hydrogène sulfuré qui alors se dégage ; au contraire, quand le carbure tombe dans l'eau, il y a hydratation de la chaux, et cette chaux hydratée, se combine à l'hydrogène sulfuré [1].

Les tarifs de transport du carbure de calcium

Le rapport de M. Lacroix nous fournit sur ce sujet des renseignements d'une certaine importance commerciale.

En 1897, sur l'avis de la Commission nommée par la Compagnie de Chemins de fer pour le classement des matières dangereuses, le carbure de calcium fut rangé dans la seconde catégorie des matières explosives, ce qui correspond, pour les frais de transport, à la première série du tarif général majoré de 10 p. 100. Cette tarification était prohibitive, et à la fin de l'année 1893, presque simultanément les Compagnies de P.-L.-M., du Nord et de l'Ouest décidèrent de taxer le carbure, sous la condition d'un transport par wagons de 5 000 kg, à la deuxième série du tarif général sur le réseau du P.-L.-M., à la cinquième série du tarif général sur le réseau de l'Ouest, au barème I des tarifs spéciaux sur le réseau du Nord. Le 19 avril 1900 le bénéfice de la deuxième série du tarif général pratiqué par le réseau du P.-L.-M. était étendu aux réseaux de l'Est, de l'État et du Midi. Enfin, à la même

[1] Deux autres rapports sur l'industrie du carbure de calcium ont été lus en séance ; l'un, dû à M. Gall, est relatif à l'état de cette industrie en France ; l'autre, dû à M. Palmaer, nous fait connaître l'état de cette industrie en Suède. Nous donnerons dans un prochain numéro une analyse de ces rapports.

époque, le réseau de l'État obtenait l'autorisation de taxer à la troisième série du tarif général le carbure transporté par wagons d'au moins 4 000 kg. Le tableau I indique les prix actuels du transport résultant de ces diverses modifications aux prix primitifs ; la dernière colonne se rapporte aux trajets empruntant des lignes appartenant à deux au moins des réseaux du P.-L.-M., de l'Est, de l'Orléans, de l'État et du Midi. Ces prix ne comprennent pas les frais accessoires (chargement, déchargement, etc.) qui s'élèvent à 1 fr par tonne pour les expéditions par chargements complets de 4 000 et 5 000 kg

I. — *Tarification actuelle du carbure de calcium en trafic interne par wagon complet de 5 000 kg.*

	Tarification primitive commune.	Nord	Est	P.-L.-M.	Orléans	Midi	Ouest	État	Tarifs communs P.-L.-M., Est, Orléans, Etat, Midi.
A 100 kilom.	17,60	10	16	14	16	16	8	11,50	14
200 »	34,10	18	31	27	31	32	15	21	27
300 »	50,60	24	46	40	46	48	22	30	40
400 »	66	»	60	52	60	63,50	28	40	52
500 »	81,40	»	74	64	74	78	33	50	64
600 »	95,70	»	»	75	87	91,50	37	60	75
700 »	108,90	»	»	85	99	104	40	»	85
800 »	121	»	»	94	110	115,50	43	»	94

II. — *Tarification actuelle du carbure dans les pays suivants :*

	Allemagne		Suisse		Italie	Belgique	Union belge hollandaise
	5 tonnes.	10 tonnes.	5 tonnes.	10 tonnes.	5 tonnes.	5 tonnes.	5 tonnes.
100 kilom.	10,70	8,80	15,00	14,00	12,24	10,60	10,50
200	19,00	16,20	28,60	26,80	19,89	17,60	17,50
300	27,20	23,70	40,00	36,30	26,52	21,60	21,50
400	35,50	31,10			32,64		25,50
500	47,50	37,10			38,76		29,50
600	47,00	43,00			43,86		33,50
700	53,00	48			48,96		

On remarquera que les tarifs des réseaux du Nord et de l'Ouest sont les plus avantageux ; malheureusement les concessions faites par ces compagnies ne servent guère, d'après le rapporteur, qu'à permettre au carbure de Suède et bientôt peut-être à celui de l'Amérique, à venir faire une concurrence aux carbures français qui, tous produits dans les Alpes et les Pyrénées, doivent subir, pour arriver dans le Nord et dans l'Ouest, des tarifs infiniment plus élevés.

Les tarifs des réseaux étrangers sont bien inférieurs comme le montre le tableau II. Il résulte de cet état de choses que les producteurs français ont souvent intérêt à passer autant que possible par les lignes étrangères. Ainsi de Bellegarde à Lille par les lignes du P.-L.-M., de l'Est et du Nord, le prix du transport de 5 tonnes est de 88 fr 90 par tonne, tandis qu'en passant par les lignes suisses, allemandes et belges, ce prix n'est plus que de 56 fr 20 par tonne, soit une différence en moins de 32 fr. 70 par tonne bien que le trajet soit de 63 km plus long. En tenant compte du droit de douane de 15 fr par tonne que

doivent payer les carbures entrant en France, l'économie résultant du second mode de transport est encore de 17 fr 70 par tonne. Pour les mêmes raisons il est plus avantageux pour transporter le carbure de Bellegarde à Milan de prendre les lignes suisses et italiennes que les lignes françaises et italiennes ; on réalise dans le second cas une économie de 5 fr 38 par tonne pour l'envoi de 5 tonnes et de 12 fr 48 par tonne pour les envois de 10 tonnes.

Quant aux transports par eau ils présentent des difficultés ; les grandes compagnies, telles que la Compagnie des Messageries Maritimes, la Compagnie Transatlantique, la Compagnie des Chargeurs Réunis, refusent de transporter le carbure autrement que par 200 kg au maximum sans aucune garantie et à des prix prohibitifs. Seules quelques compagnies privées acceptent cette marchandise à des conditions à débattre dans chaque cas particulier. Etant donné que le carbure de Suède peut au contraire être facilement amené en France par voiliers à des conditions très avantageuses et transporté depuis nos ports à des conditions également très avantageuses par les compagnies de l'Ouest et du Nord, le rapporteur est d'avis qu'il y a lieu de demander aux compagnies de navigation de vouloir bien examiner la question afin de permettre à l'industrie française de soutenir utilement la concurrence étrangère.

(*A suivre.*) J. BLONDIN.

TRACTION ÉLECTRIQUE PAR COURANTS TRIPHASÉS
SUR LE CANAL DE BRUXELLES A CHARLEROI

Ce n'est qu'au cours de ces dernières années que l'on a commencé à appliquer l'électricité à la traction des bateaux sur les canaux et déjà les quelques installations de ce genre qui ont été exécutées font prévoir que cette forme de l'énergie ne tardera pas à prendre dans cette nouvelle branche une importance analogue à celle qu'elle s'est acquise en si peu de temps dans les installations de traction ordinaire, tramways, chemins de fer, etc... Nous n'avons pas l'intention de nous appesantir ici sur les nombreux avantages de cette nouvelle application de l'électricité, il suffit en effet de songer que l'on peut aisément doubler la vitesse de marche des bateaux et assurer en outre le service jour et nuit sans augmentation sensible des frais de premier établissement, pour comprendre aussitôt la révolution que l'électricité peut apporter dans ce nouveau mode de transport.

L'installation que nous nous proposons de décrire actuellement et qui a été entreprise par la Compagnie générale de Traction électrique sur les voies navigables, de Bruxelles, emprunte un intérêt tout particulier à ce fait qu'elle est la première qui ait été réalisée au moyen de moteurs alimentés par des courants polyphasés ; nous verrons plus loin les avantages que présentait dans le cas actuel cette solution de la question.

Le canal que cette société se proposait de desservir par la traction électrique réunit Bruxelles à Charleroi et comprend deux parties (fig. 1) : la première à petite section qui s'étend de Bruxelles à Seneffe et présente une longueur de 47 km ; la deuxième à large section va de Seneffe à Charleroi et comporte avec ses embranchements une longueur totale de 30 km environ.

La partie actuellement exploitée a une section de 7,20 m au plafond, 15,80 m au plan d'eau, 2,15 m de tirant d'eau pratique (fig. 2). Les écluses et les ouvrages ont un pertuis de 2,60 m (fig. 3). Le trafic est considérable car ce canal joint les bassins houillers du Hai-

naut à Anvers et quoique les bateaux, dans la partie à petite section, soient de 70 tonnes, le tonnage commercial général du canal a dépassé en 1899, 700 000 tonnes. Le canal est fort envasé (fig. 4) et l'étroitesse des ouvrages d'art, leurs rampes d'accès (14 p. 100 en moyenne) rendent l'exploitation très difficile.

Fig. 1. — Carte du canal de Bruxelles à Charleroi.

Tout l'ensemble de ce canal est desservi par deux stations centrales ; l'une alimentant la première partie est située à Oisquercq à 23,5 km de Bruxelles ; l'autre appelée

Fig. 2. — Profil normal du canal de Bruxelles à Charleroi.

à desservir la deuxième partie sera construite à Roux à 7 km de Charleroi. De ces deux stations, on n'a exécuté jusqu'à présent que la première qui dessert le tronçon de Bruxelles à Seneffe.

Etant donnée la distance relativement considérable sur laquelle devait s'effectuer le

transport d'énergie et comme, d'autre part, les moteurs de traction ne pouvaient être alimentés que sous une tension relativement faible, il était nécessaire d'établir de distance en distance sur toute la longuenr du canal des postes de transformation qui recevraient l'énergie de la station centrale sous forme de courants à haute tension et la distribueraient ensuite le long du canal sous une tension réduite.

Pour l'alimentation de ces postes de transformation par les stations centrales, l'emploi des courants polyphasés à haute tension était tout indiqué ; mais ceci étant posé, deux solutions se trouvaient encore en présence pour la distribution secondaire le long du canal. La

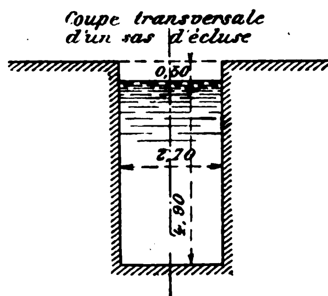


Fig. 3. — Coupe transversale d'un sas.

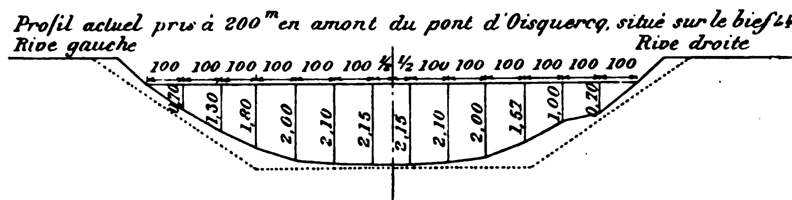


Fig. 4. — Profil d'une partie du canal.

première solution consistait à alimenter les moteurs de traction directement avec des courants polyphasés, les postes de transformation servant uniquement dans ce cas à réduire la tension des courants alternatifs et ne comprenant par conséquent que des transformateurs ordinaires. La deuxième solution consistait à transformer dans ces postes les courants alternatifs à haute tensien en courant continu sous une tension de 500 volts par exemple pour alimenter avec ce dernier courant les moteurs de traction. Pour opérer cette dernière transformation, il était donc nécessaire d'installer dans chaque poste des transformateurs ordinaires réduisant d'abord la tension des courants polyphasés, puis des commutatrices transformant ces courants alternatifs à basse tension en courant continu. Comme il est facile de le voir, cette dernière solution entraînait des frais de premier établissement beaucoup plus élevés et de plus la présence de machines constamment en mouvement dans chaque poste de transformation nécessitait une surveillance incessante, tout en offrant cependant une sécurité beaucoup moindre. Enfin comme la Compagnie générale de Traction électrique sur les voies navigables n'avait pu envisager la possibilité d'exploiter le halage électrique qu'en projetant d'utiliser la même installation pour assurer l'éclairage des communes situées le long du canal ou à une certaine distance de celui-ci, M. Léon Gérard, ingénieur électricien, ancien directeur adjoint de l'Institut Solvay de l'Université de Bruxelles, qui a dirigé les études et la construction de cet intéressant travail, fit adopter d'une manière exclusive l'emploi des courants polyphasés, solution qui était à la fois la plus économique et se prêtait le mieux aux diverses transformations de tension nécessaires, dans le cas actuel, pour l'alimentation des différents réseaux de force et d'éclairage. Cette solution était d'autant plus indiquée que la population industrielle de la région à desservir atteint 600 000 âmes et est une des plus riches et des plus actives de l'Europe.

Usine génératrice. — La station centrale (fig. 5, 6 et 7) établie à Oisquercq au bord du canal comprend trois machines à vapeur qui ont été fournies par les ateliers de construction H. Bollinckx de Bruxelles. Ces machines du type monocylindrique sont d'une puissance effective de 100 chevaux avec une vitesse de 80 tours par minute.

Le diamètre du cylindre est de 400 mm et la course du piston de 800 mm ; la consommation garantie est de 7,400 kg de vapeur par cheval indiqué. Le poids du volant

a été déterminé de manière à assurer aux machines un degré maximum d'irrégularité dans le tour de 1/200.

A côté de la salle des machines se trouve l'emplacement des chaudières ; celles-ci, au nombre de 3 sont du type Cornwall à foyer central avec tôle ondulée et tubes obliques ;

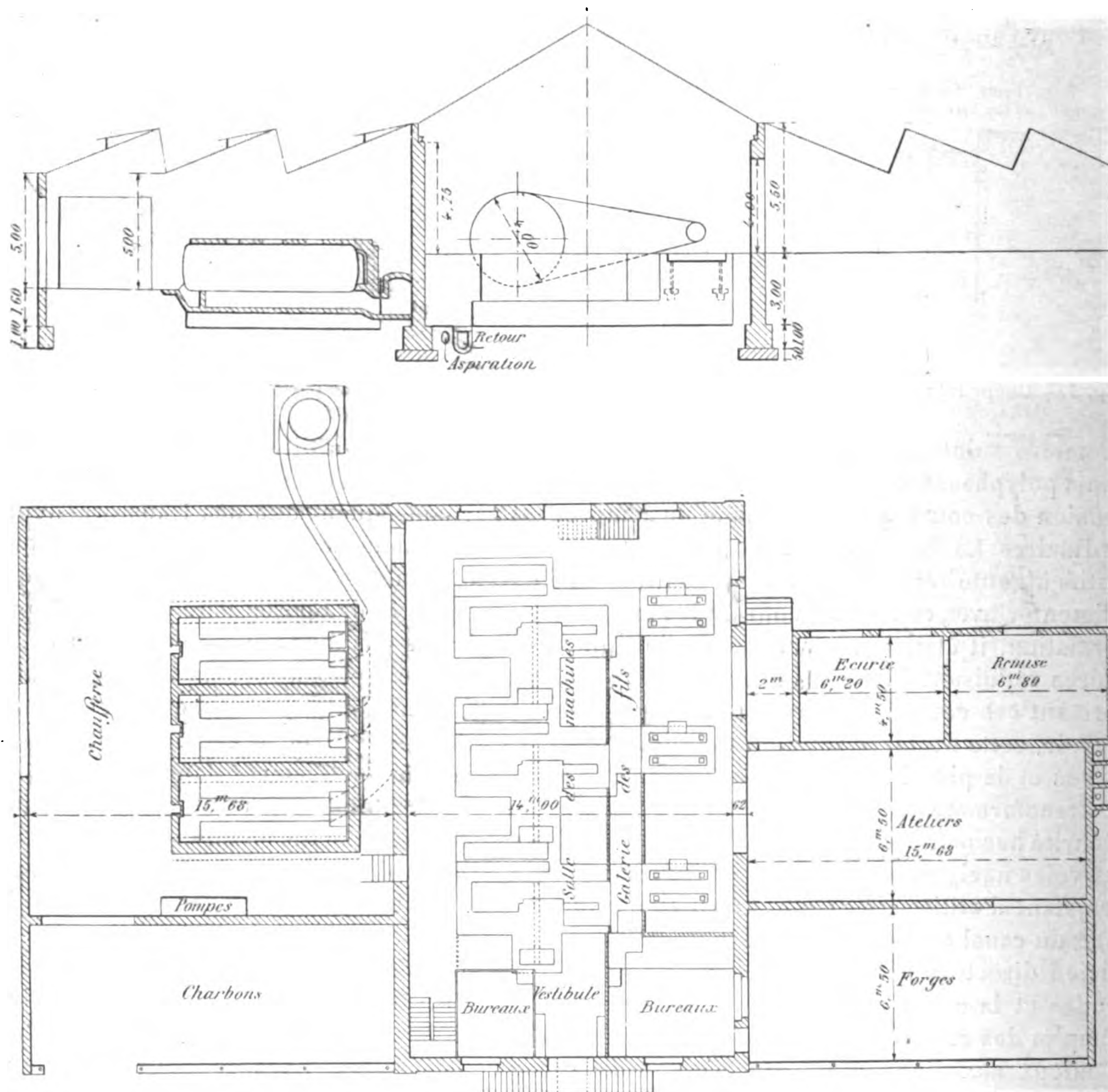


Fig. 5 et 6. — Coupe et plan de la station génératrice.

leur surface de chauffe est de 75 m² par chaudière. Chacune d'elles est alimentée par un injecteur et une pompe alimentaire. Toute la canalisation des chaudières est double, c'est-à-dire qu'elles communiquent toutes avec deux conduites générales en fonte, reliées également par une double canalisation à un cylindre en tôle d'acier servant de sécheur de vapeur.

Les dynamos, au nombre de 3 également, sont commandées à l'aide de courroies en coton par les machines à vapeur correspondantes. Elles ont été établies de manière à pou-

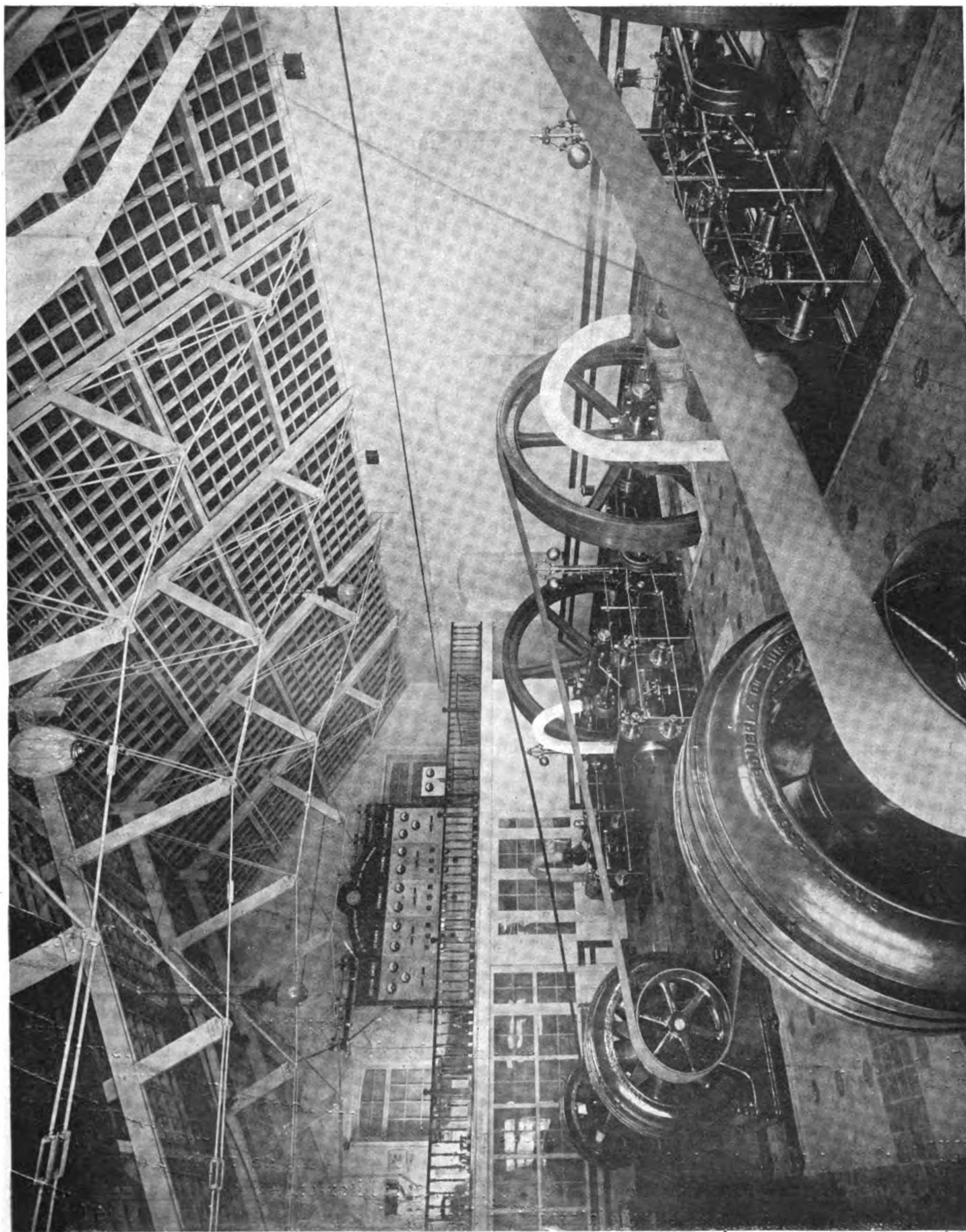


Fig. 7. — Vue intérieure de la station génératrice.

voir absorber une puissance de 100 chevaux, en travaillant sur des circuits inductifs tels que cos $\varphi = 0,8$. Elles font 400 tours par minute et fournissent des courants triphasés sous une fréquence de 40 périodes par seconde et en donnant directement à leurs bornes une tension polygonale de 6 000 volts, tension qui avait été adoptée pour le réseau primaire. Les génératrices travaillent donc directement sur la ligne saus aucun transformateur intermédiaire, solution qui présente évidemment l'avantage d'être plus économique au point de vue des frais de premier établissement et d'avoir en outre un rendement plus élevé. Le rendement garanti en pleine charge était de 92 p. 100 ; lors des essais, le rendement fut trouvé égal à 93,15 p. 100 pour cos $\varphi = 1$ et 92,5 p. 100 pour cos $\varphi = 0,8$. Ces machines, comme d'ailleurs toute l'installation électrique de l'usine et des électro-moteurs de traction, ont été fournies par MM. Brown, Boveri et Cie, de Baden (Suisse) dont la haute compétence pour tout ce qui concerne les installations de traction par courants polyphasés est aujourd'hui universellement reconnue. Les dynamos sont du type à inducteur tournant et à armature fixe ; sur le prolongement de l'arbre et en dehors des paliers est fixée l'armature de l'excitatrice dont le système inducteur repose sur un support venu de fonte avec le bâti de l'alternateur. Chaque excitatrice a été calculée de manière à pouvoir suffire à l'excitation de 2 génératrices.

Le tableau a été placé au-dessus des bureaux et domine par conséquent toute la salle des machines ; les canalisations réunissant les machines au tableau passent dans une galerie souterraine, ménagée entre les fondations des machines. Le tableau se compose de 5 panneaux juxtaposés dont 3 correspondent aux 3 génératrices, les deux autres servant : l'un pour le départ des canalisations dans la direction d'amont et l'autre pour le départ dans la direction d'aval.

Les excitatrices des trois machines sont montées en parallèle sur deux rails collecteurs. Pour faire varier simultanément la tension des 3 génératrices, on agit sur la tension des rails collecteurs d'excitation, tandis que pour faire varier seulement le voltage d'une machine par rapport aux autres, on agit sur la résistance en série intercalée dans le circuit d'excitation de chaque alternateur.

Le couplage en parallèle des machines s'effectue de la façon la plus simple ; sur le régulateur de chaque moteur à vapeur on a disposé un petit plateau que l'on charge plus ou moins pour faire varier la vitesse de la machine que l'on veut coupler. Le synchronisme des machines se constate comme toujours au moyen de lampes de phase alimentées par des transformateurs et le couplage s'est toujours effectué sans la moindre difficulté.

Canalisation. — La canalisation comprend 4 réseaux distincts, à savoir : le réseau primaire à haute tension, les lignes de contact à basse tension ; le réseau secondaire pour l'éclairage, divisé en amont et aval ; et enfin un réseau téléphonique privé.

Le réseau primaire à haute tension est monté sur des isolateurs spéciaux placés à la partie supérieure des poteaux et disposés de manière à former un triangle équilatéral (fig. 8 et 9), ceci dans le but de diminuer la self-induction de la ligne. Ces isolateurs sont du type à triple cloche, leur hauteur totale est de 190 mm et le diamètre du manteau extérieur est de 113 mm ; ils ont été fournis en partie par la Société Merkelsgrün de Carlsbad et en partie par la fabrique de Hermsdorf. Avant la pose, tous ces isolateurs ont été essayés à 20 000 volts au laboratoire de la Compagnie. Pour éviter qu'en cas de rupture d'un fil primaire, les réseaux secondaires ne puissent se trouver subitement en contact avec la ligne à haute tension, on a disposé immédiatement en dessous de celle-ci un filet de sûreté formé de 3 fils galvanisés de 4 mm de diamètre, tendus parallèlement aux fils primaires et réunis

entre eux tous les 3 m environ par des fils transversaux de 2,5 mm de diamètre. Pour le passage au-dessus des routes, la ligne primaire est alors complètement enveloppée par un filet métallique dont les mailles ont environ 15 cm de côté.

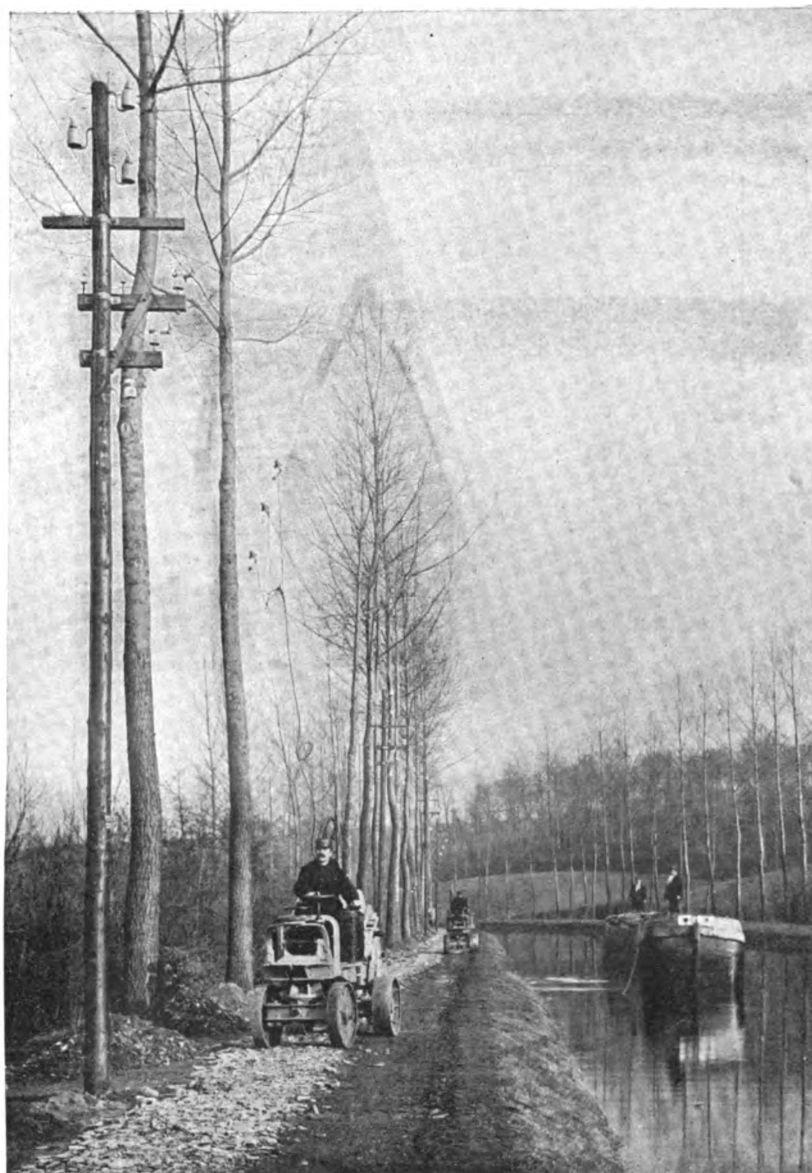


Fig. 8. — Vue du canal.

Le réseau téléphonique est placé immédiatement au-dessous du filet et par conséquent entre les lignes primaire et secondaire ; il est formé de deux fils croisés tous les quatre poteaux, suivant la disposition proposée par M. Banneux, ingénieur en chef des Télégraphes belges.

Au-dessous du réseau téléphonique est disposée la ligne secondaire servant à la traction. Les trois fils de trôlet qui ont un diamètre de 5 mm, sont placés dans un même plan

oblique par rapport au poteau et sont tous trois situés d'un même côté de celui-ci. Pour permettre le facile passage des trôlets, les fils de contact sont soudés dans des sortes de gouttières qui sont fixées elles-mêmes à des isolateurs en porcelaine. Le fil le plus bas est toujours à une hauteur minima de 5,50 m au-dessus du sol, sauf au passage des routes où cette hauteur est portée à 7 m.

Les poteaux en sapin de Russie créosoté ont une hauteur variant de 8 à 14 m ; ils sont

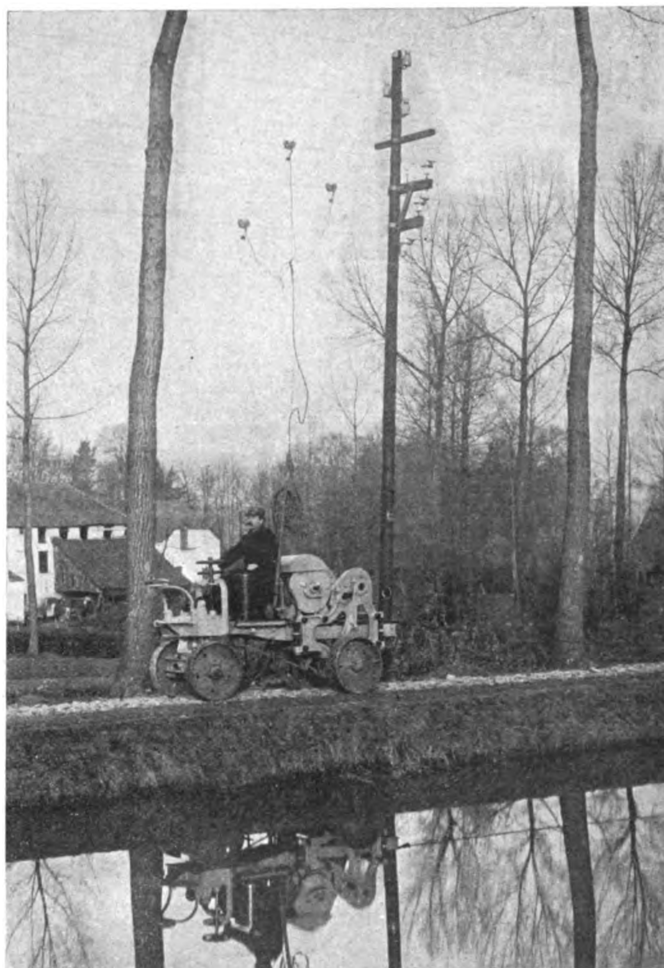


Fig. 9. — Vue du tracteur.

terminés à leur partie supérieure par un paratonnerre qui est mis directement en contact avec la terre, au moyen de ronce artificielle s'enroulant autour du poteau. Les filets de sûreté sont reliés aux ronces artificielles qui assurent leur bon contact avec la terre ; en outre tous les quatre poteaux environ, les ronces sont reliées à une plaque métallique enfouie dans le sol. La distance moyenne entre deux poteaux successifs est environ de 35 à 40 m.

Le réseau d'éclairage, qui réunit les postes de transformation aux diverses localités à éclairer, suit en général une direction différente de celle des lignes de traction ; aussi ce réseau est-il posé le plus souvent sur des poteaux spéciaux.

Postes de transformation. — Les postes de transformation (fig. 10) sont établis environ tous les 4,7 km ; ils sont constitués par une cabine divisée en deux parties par une cloison, chacune de ces deux parties ayant une porte d'entrée spéciale sur les faces opposées de la cabine. D'un côté de la cloison se trouve un transformateur triphasé complètement enfermé dans une caisse remplie d'huile, qui est mise en contact avec la terre au moyen d'une plaque métallique enfouie dans le sol. La canalisation à haute tension pénètre dans la cabine par la partie supérieure de celle-ci, puis se divise en deux embranchements dont le premier aboutit au transformateur après avoir traversé des coupe-circuits fusibles, tandis que le second traverse également les coupe-circuits fusibles mais sort ensuite de la cabine pour aller alimenter les autres stations transformatrices qui sont plus éloignées de la station centrale. Ces coupe-circuits fusibles sont du type ordinaire adopté par MM. Brown, Boveri et Cie ; ils se composent d'un tube en porcelaine terminé à ses deux extrémités par des mâchoires métalliques; le fil fusible réunit entre elles les deux mâchoires en passant à l'intérieur du tube. Ce type de coupe-circuit présente l'avantage de pouvoir facilement être mis en place ou retiré à volonté et de servir par conséquent d'isolateur de section. Il y a donc par cabine 6 coupe-circuits fusibles à haute tension, dont 3 servent à isoler de la ligne primaire le transformateur, les trois autres permettant de couper toute communication entre les postes suivants et le réseau à haute tension.

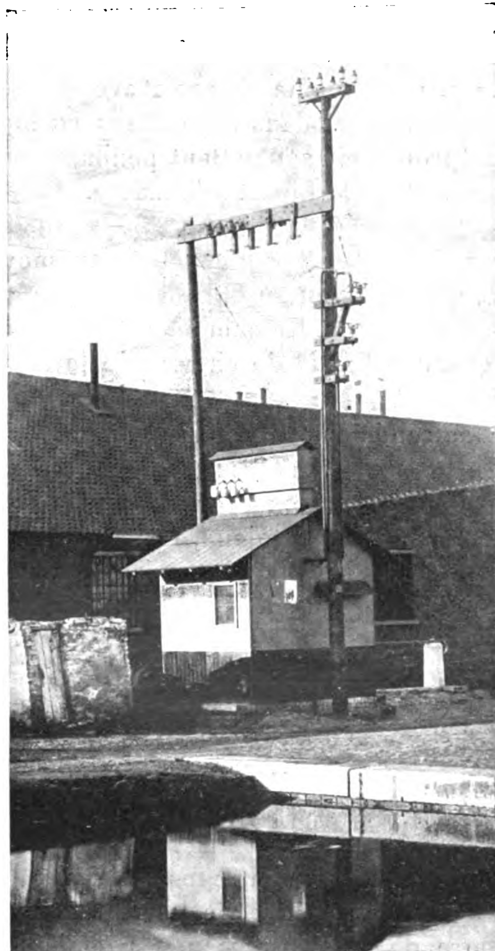


Fig. 10. — Poste de transformation.

Lesenroulements secondaires des transformateurs sont mis en communication par deux séries distinctes de coupe-circuits fusibles, d'une part avec la ligne de traction d'amont et d'autre part avec celle d'aval, ce qui permet d'isoler à volonté une section quelconque du canal. Des portillons ménagés dans les cloisons extérieures de la cabine permettent de manœuvrer ces coupe-circuits fusibles du dehors et sans qu'il soit nécessaire de pénétrer à l'intérieur de la cabine.

On voit donc que toutes les précautions ont été prises de manière à augmenter dans toute la limite possible la sécurité de l'installation et celle du personnel chargé de la diriger, et de façon à permettre l'exécution des réparations nécessaires sans avoir à interrompre pour cela le service général.

La deuxième partie de la cabine renferme un téléphone ainsi que tous les outils de réparation, gants en caoutchouc, coupe-circuits fusibles de rechange, etc. ; en outre la cloison qui la sépare de l'autre partie de la cabine présente une ouverture ménagée en regard des coupe-circuits fusibles à haute tension dont la manœuvre peut ainsi être faite en cours de

service et sans qu'il soit besoin de pénétrer dans le local contenant le transformateur.

Chaque station transformatrice est protégée par des parafoudres du type dit à cornes et qui sont placés à l'extérieur, sur une traverse reliant les poteaux d'amenée des conducteurs à la cabine.

Les transformateurs sont du type triphasé à 3 colonnes réunies à chaque extrémité par une seule culasse. Leur puissance est de 19000 watts et le rapport de transformation est calculé de manière à réduire la tension de 6000 volts à 600, voltage adopté pour l'alimentation des moteurs de traction. Le rendement garanti pour ces transformateurs à pleine charge et avec $\cos \varphi = 1$ était de 94,8 p. 100 et lors des essais les mesures effectuées donnèrent un rendement de 95,7 p. 100 à pleine charge et avec $\cos \varphi = 1$. Comme nous l'avons déjà dit, ces transformateurs sont placés dans des caisses en fonte complètement remplies d'huile et l'isolement en fut éprouvé en soumettant pendant une heure l'enroulement primaire à une tension de 12000 volts par rapport à la masse.

Tracteurs. — La traction des bateaux est effectuée au moyen de petites locomotives routières appelées tracteurs, qui circulent au bord du canal sur le chemin même qui était autrefois réservé aux chevaux de halage. Ce chemin est composé d'une bande de mauvais pavés de 0,80 m de largeur et d'une bande de chemin de terre macadamisée depuis par la Compagnie sur une largeur de 1,25 m.

Le tracteur (fig. 11 à 14) comprend deux parties bien distinctes, d'une part le truck avec sa plate-forme et d'autre part le bâti qui reçoit le moteur avec les transmissions intermédiaires et qui est réuni au truck par une suspension à ressorts. Le truck se compose d'une plate-forme métallique reposant sur 4 roues, dont deux, celles d'arrière, sont motrices, les deux roues d'avant étant directrices. La plate-forme repose directement sur l'essieu d'arrière par l'intermédiaire des boîtes à graisse munies de ressorts à boudin; à sa partie antérieure au contraire elle présente un demi-tore en fonte dure qui repose sur un deuxième demi-tore fixé sur l'essieu d'avant; entre ces deux pièces se trouve une rigole circulaire où sont placées des billes d'acier de 35 mm de diamètre. Ce montage à billes a pour résultat d'assurer à la direction une très grande facilité de manœuvre. En outre le train d'avant est également articulé de manière à pouvoir pivoter autour d'un axe horizontal perpendiculaire à la direction des essieux. Les roues sont en acier coulé; les roues motrices ont un diamètre de 0,70 m et une largeur de 0,25 m tandis que le diamètre des roues directrices est de 0,60 m et leur largeur de 0,10 m; enfin la distance entre les essieux est de 1,80 m. La direction est effectuée à l'aide d'un volant actionnant une vis sans fin; en outre un frein puissant manœuvré de la partie antérieure de la plate-forme permet de caler les roues arrière du tracteur.

Le bâti qui reçoit le moteur avec les transmissions se trouve situé vers la partie arrière de la plate-forme à laquelle il est suspendu par des ressorts à boudin. L'électromoteur, dont la vitesse à pleine charge est de 580 tours par minute, attaque au moyen d'un pignon en cuir une première transmission intermédiaire faisant 116 tours. Cette transmission peut à son tour être mise en communication par un double embrayage à griffes, soit avec l'essieu moteur au moyen d'une chaîne de Galle, soit avec un treuil conique placé à la partie arrière de ce bâti, cette dernière transmission se faisant par engrenages.

Sur la partie de la plate-forme restée libre, c'est-à-dire par conséquent entre les organes de direction et le moteur, se trouve situé le siège du conducteur qui a, à sa gauche, la résistance de démarrage du moteur et à sa droite le commutateur inverseur qui permet de renverser le sens de rotation du moteur. Enfin un deuxième siège a été disposé tout à fait

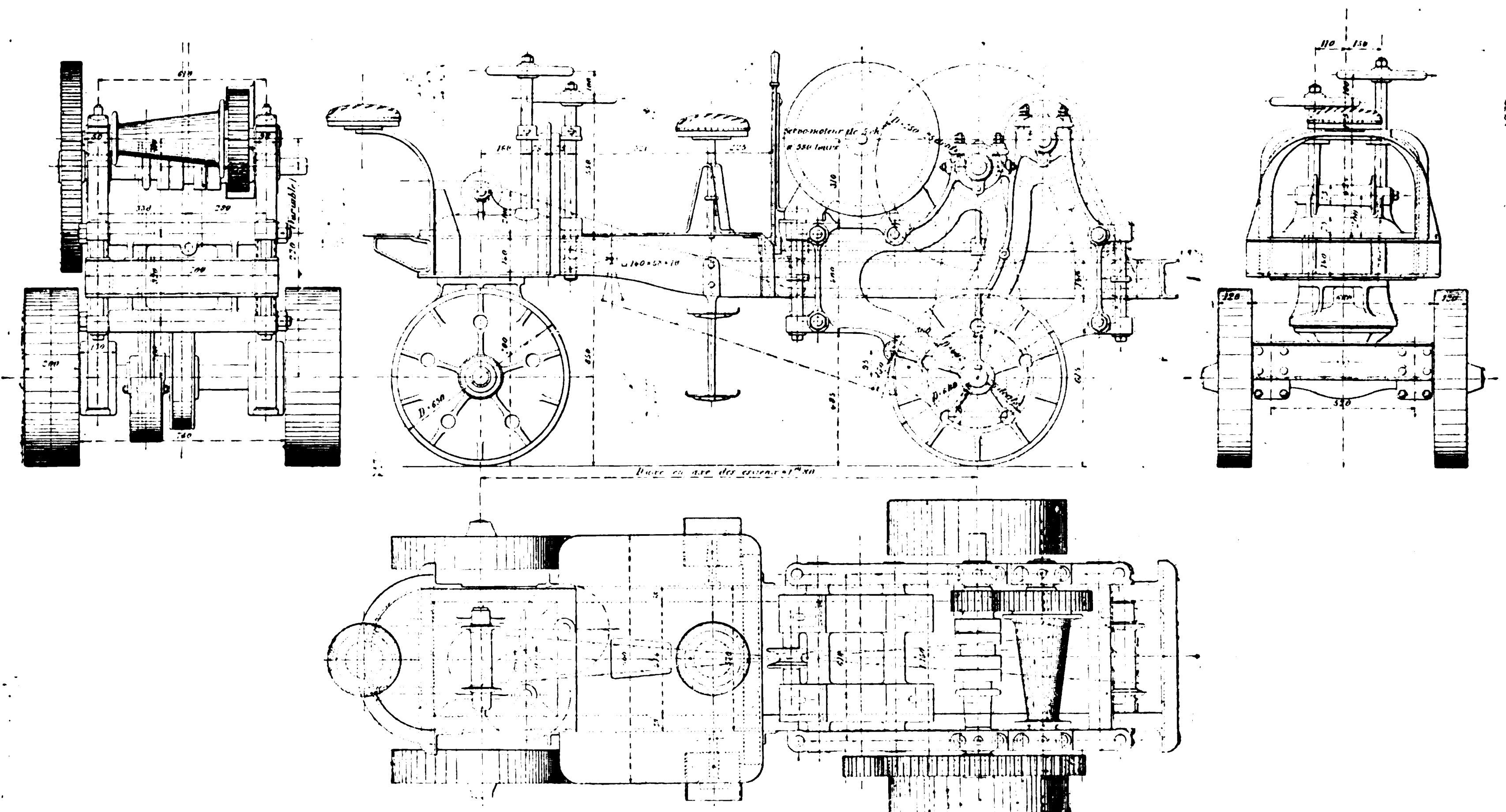


Fig. 11, 12, 13, 14. — Tracteur.

à l'avant du tracteur et faisant face vers l'arrière, de façon à permettre de conduire le tracteur aussi bien dans une direction que dans l'autre.

Dans la marche normale, l'embrayage à griffes est toujours disposé de manière à ce que l'électromoteur actionne l'essieu moteur par l'intermédiaire de la chaîne sans fin. Cependant lorsque le bateau se trouve par exemple dans une écluse et qu'il s'agit de le faire démarrer, l'effort exigé est considérable et de beaucoup supérieur au couple normal que le moteur est susceptible de fournir. Aussi était-il indispensable de munir le tracteur d'un dispositif permettant d'effectuer ces sortes de démarrage d'une manière progressive et en développant un effort considérable. C'est pour permettre de réaliser ces conditions que la transmission intermédiaire au lieu d'actionner l'essieu moteur peut être mise en communication par l'embrayage à griffes et au moyen d'un train d'engrenages réducteurs avec un treuil conique sur lequel vient s'enrouler la corde de traction. Lorsqu'on veut faire usage de ce treuil pour un démarrage difficile, on commence par immobiliser le tracteur au moyen du frein ou par des blocs placés sous les roues, puis on met en marche le moteur. La corde à laquelle est attaché le bateau commence par s'enrouler d'abord très lentement autour du treuil et en exerçant un effort de traction au moins égal à 5 fois l'effort normal. Au fur et à mesure que la vitesse du bateau s'accélère, le rayon du tambour sur lequel s'enroule la corde augmente et par conséquent la vitesse augmente constamment, jusqu'à atteindre à peu près sa vitesse normale. On débraye alors les freins du tracteur, on fixe la corde à son point d'attache normal, on accouple l'embrayage à griffes de manière à actionner l'essieu moteur et le tracteur se met en marche, remorquant à sa suite le bateau déjà lancé. Comme nous l'avons dit, le treuil conique est placé à la partie arrière du tracteur, mais afin que l'on puisse s'en servir quel que soit le sens de marche du tracteur, une série de rouleaux convenablement disposés font office de renvoi de mouvement pour permettre à la corde qui arrive par l'avant de venir s'enrouler sur le treuil.

Les moteurs (fig. 15 et 16) placés sur les tracteurs ont été établis pour être alimentés par des courants triphasés sous une tension de 600 volts et une fréquence de 40 périodes par seconde ; ils sont enroulés à 8 pôles et font par conséquent 600 tours par minute à vide. Leur puissance normale est de 5 chevaux, mais ils ont été prévus de manière à pouvoir fournir au démarrage un couple correspondant à une puissance de 10 chevaux.

La partie qui reçoit directement le courant de la ligne est le rotor qui est formé de tôles juxtaposées et présentant de profondes rainures pour le logement des enroulements. Ceux-ci sont constitués par toute une série de bobines enroulées à l'avance sur gabarit et fixées ensuite dans les rainures du rotor ; cette disposition permet, en cas d'avarie dans les enroulements, de localiser très rapidement la faute, et de la réparer en très peu de temps, puisqu'il suffit de remplacer la bobine avariée par une bobine de rechange. Le rotor est connecté en étoile et les extrémités des enroulements aboutissent à 3 bagues munies de balais en charbon pour l'arrivée du courant.

La partie fixe du moteur ou stator reçoit les enroulements secondaires montés également en étoile et qui se terminent par 3 câbles aboutissant aux résistances de démarrage.

Le moteur devant être placé sur le tracteur sans aucune protection contre la pluie, le bâti a été étudié de manière à former une carcasse métallique complètement close et les ouvertures de ventilation ménagées dans cette carcasse sont recouvertes par des rebords les protégeant entièrement, de façon à empêcher toute infiltration d'eau par ces ouvertures.

L'isolement des moteurs fut éprouvé lors des essais en appliquant pendant une demi-heure, entre les enroulements du rotor et la masse, une tension de 1500 volts à courant alternatif ce qui correspond à près de 3 fois la tension normale d'alimentation.

Les résistances de démarrage sont placées, comme nous l'avons déjà dit, à la gauche du conducteur du tracteur ; elles sont entourées par une tôle perforée permettant la libre circulation de l'air à l'intérieur de celles-ci, pour en empêcher un échauffement excessif. Au démarrage on insère toutes les résistances dans les circuits du stator et le moteur développe alors un couple supérieur à celui correspondant à une puissance de 10 chevaux ; puis au fur et à mesure que le démarrage se produit, on tourne la poignée pour diminuer les résistances insérées et augmenter la vitesse du tracteur. Lorsque la vitesse normale est à peu près atteinte les résistances sont mises hors-circuit et le stator est fermé sur lui-même.

Ces résistances ont été calculées très largement au point de vue de l'échauffement,

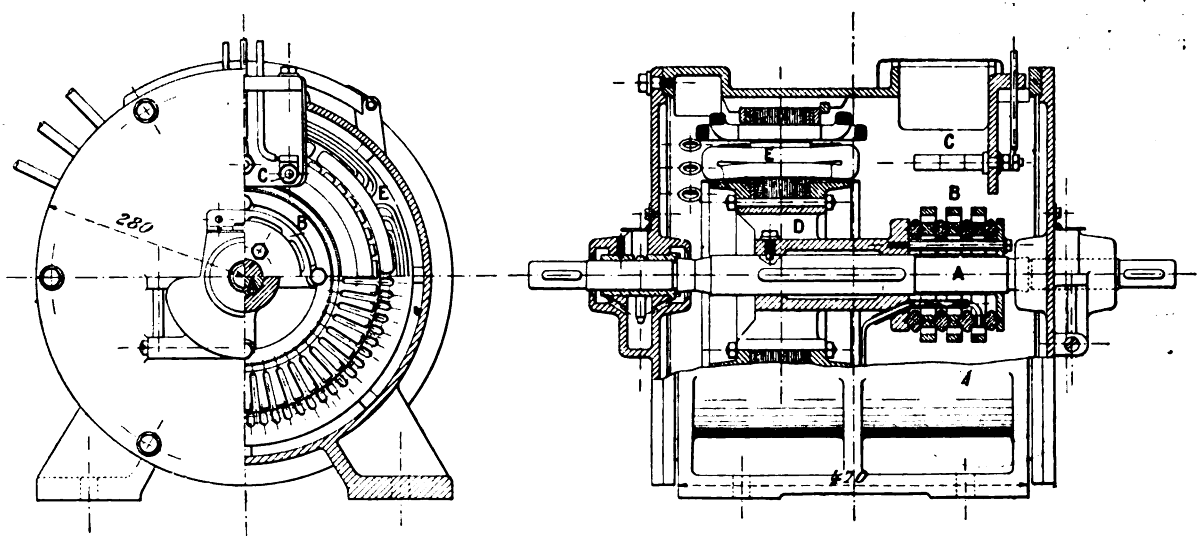


Fig. 15 et 16. — Moteur triphasé.

pour permettre en outre le fonctionnement des moteurs à vitesse réduite, ce qui est parfois nécessaire à l'approche d'ouvrages d'art, écluses ou ponts, ou lors du croisement de deux bateaux. La vitesse normale de traction est de 4,8 km par heure et elle peut être abaissée à 2 km par l'introduction de résistances dans le stator.

Un inverseur de courant placé à la droite du conducteur permet de changer à volonté le sens de marche du tracteur, opération que l'on est amené à effectuer assez fréquemment. En effet la largeur du chemin de halage est en général inférieure à 2,50 m ; or les tracteurs ayant un empattement de 1,80 m et une largeur de 1,25 m, il est impossible de les faire tourner entre deux écluses et l'on serait donc obligé d'aller jusqu'à l'écluse la plus rapprochée pour trouver un emplacement suffisant permettant au tracteur de tourner, mais les conducteurs qui sont intéressés au nombre de bateaux-kilomètres effectués par jour, trouvent plus avantageux de ne pas tourner l'appareil sur la plate-forme des écluses et de le conduire en arrière en utilisant l'autre siège.

De même aussi la faible largeur du chemin en certains endroits ne permet pas le croisement de deux tracteurs ; aussi, lorsque deux automobiles se rencontrent, remorquant des bateaux en sens inverse, on ne fait en général qu'échanger les cordes des bateaux entre les deux tracteurs qui repartent alors chacun dans la direction opposée à celle d'où ils étaient venus. Cette dernière manœuvre se fait avec la plus grande rapidité et sans entraîner le moindre ralentissement sensible dans la vitesse des bateaux.

Deux modèles de tracteurs sont actuellement en service, l'un avec bâti en fonte d'acier a été construit par les ateliers de la Sambre, l'autre dont le bâti est exclusivement en tôle d'acier a été exécuté par les ateliers de Marcinelle et Couillet; l'un et l'autre sont établis sur les données et dessins de M. Léon Gérard, administrateur délégué de la Compagnie générale de Traction électrique sur les voies navigables. Le poids du premier modèle est de 2 000 kg et celui du deuxième de 1 820 kg. En raison de l'état très primitif des routes parcourues, le modèle le plus lourd, fourni par les ateliers de la Sambre, a donné les meilleurs résultats au point de vue de la résistance mécanique, mais d'autre part sa consommation d'énergie est plus grande que celle du modèle plus léger.

L'amenée des courants depuis les fils de ligne jusqu'aux tracteurs était, dans une telle installation, un point particulièrement délicat et auquel il convenait d'apporter toute son attention. La distribution étant faite par courants triphasés, il fallait établir une triple

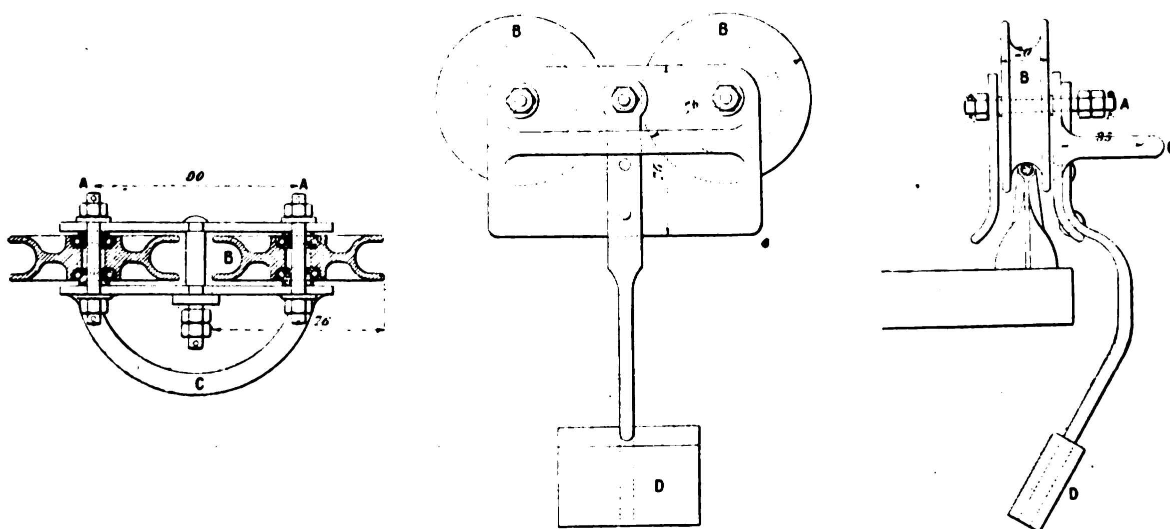


Fig. 17 à 19. — Prise de courant.

prise de courant; d'autre part la distance entre les trois fils de ligne pouvant varier suivant que ceux-ci étaient plus ou moins tendus, on ne pouvait songer à réunir entre elles d'une manière rigide ces trois prises de courant. Dans le système de trôlet, adopté dans les installations de traction sur les canaux du nord de la France, la rusticité du trôlet-cavalier avait donné lieu à quelques difficultés, et il était aisé de voir que ces difficultés ne pourraient que s'aggraver pour des lignes triples comme celles nécessitées par des courants triphasés. C'est ce qui amena la création du type spécial de trôlet dont nous donnons les croquis ci-contre (fig. 17, 18 et 19), et qui est formé de deux roues en bronze d'aluminium montées à billes et dont les axes sont réunis par deux joues en aluminium pur; un contrepoids en plomb abaisse le centre de gravité de ce système au-dessous des points de suspension, de manière à lui assurer une stabilité suffisante. Le poids total de chaque trôlet est de 800 gr environ. Ces trois appareils sont réunis au tracteur par trois conducteurs souples formés chacun de 64 brins de 1/10 de millimètre, avec isolement en para. Ces conducteurs aboutissent sur la plate-forme de l'automobile au commutateur inverseur de courant qui sert également d'interrupteur.

Considérations générales. — Comme nous l'avons dit plus haut, on a commencé par

l'exploitation de la première section du canal qui s'étend de Bruxelles à Seneffe et qui est desservie par la station centrale de Oisquercq. A la fin de l'année dernière, la canalisation était déjà posée sur une longueur de 22 km environ et sur une partie de ce trajet l'exploitation se faisait déjà d'une manière régulière ; on a pu ainsi se rendre compte en pratique du parfait fonctionnement de toute l'installation.

Dans les parties où la ligne de halage est en trop mauvais état ou encore où elle est encombrée par des opérations de chargement ou de déchargement, le halage électrique est



Fig. 20. — Remorquage.

remplacé par le remorquage électrique (fig. 20). Les remorqueurs électriques sont d'élégantes embarcations de 12 m de long, 1,80 m de large et 0,60 m de creux avec des lignes très effilées. Le moteur est un moteur triphasé de 12 chevaux faisant 800 tours par minute. L'hélice qui fait 350 tours est commandée par un train d'engrenages formé d'un pignon en cuir attaquant une roue dentée en acier. Le tracé de l'hélice est à pas progressif. Les résultats obtenus par ce mode de traction sont remarquables au point de vue du rendement. Le moteur est alimenté par la ligne posée le long du canal à l'aide d'un trôlet triple à câble passant sur une borne mobile de l'invention de l'ingénieur en chef de la Compagnie, M. L. Gérard.

Les distributions d'éclairage et de force motrice que la Compagnie générale de Traction électrique effectue dans toutes les localités qui se trouvent à proximité du canal sont exécutées sous une tension de 220 volts pour l'incandescence, 30 volts pour les arcs, 220 volts

pour les moteurs ne dépassant pas 5 chevaux et 600 volts pour les moteurs dont la puissance est de 10 chevaux ou plus. En ce qui concerne l'éclairage, notons cependant que les réseaux secondaires destinés à alimenter d'une part l'éclairage public et d'autre part les abonnés sont montés avec un fil commun.

Le tarif adopté pour l'éclairage est le suivant :

55 centimes par kilowatt-heure fourni à la tension de 220 volts et pour les distributions entreprises à forfait.

30 fr par an par lampe de 16 bougies brûlant en moyenne 1 000 heures par an.

15 fr par an par lampe de 16 bougies brûlant en moyenne 500 heures par an.

Pour la force motrice, l'énergie est fournie au compteur à raison de 25 centimes le kilowatt. Les compteurs utilisés dans toute l'installation sont les compteurs Thomson ou les Chamberlain-Hookham.

En résumé cette installation qui se trouve maintenant depuis plus de six mois déjà en fonctionnement normal et régulier marque un pas nouveau dans les progrès de la traction électrique sur canaux et ouvre un champ nouveau à l'électricité. Il est à souhaiter que pareilles applications se généralisent et à espérer qu'il en sera ainsi quand on tient compte des difficultés techniques que les électriciens belges ont vaincues pour appliquer aussi heureusement l'électricité sur un canal à circulation très active, à très petite section, à tracé sinueux et sur de très mauvais chemins de halage. Pareille entreprise eût été presque impossible et à coup sûr non rémunératrice sans l'appoint considérable fourni par la vente de l'éclairage et de la force motrice. C'est grâce aux courants polyphasés que ce résultat a pu être atteint et il est hautement intéressant de le constater.

P. Desombre,
Ingénieur des Arts et Manufactures.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

RECHERCHES DIVERSES

Sur l'électricité de contact, par **F.-S. Spiers.** *Philosophical Magazine*, t. XLIX, p. 70-90, janvier 1900.

L'auteur se propose de déterminer, d'une manière plus complète qu'on ne l'a fait jusqu'ici, si la différence de potentiel au contact de deux métaux est due en tout ou en partie à la couche gazeuse qui se trouve à la surface de ces conducteurs reliés métalliquement.

D'abord, l'attraction moléculaire qui s'exerce entre un métal et la couche gazeuse qui adhère à ce métal est, très probablement, d'un ordre de grandeur plus que suffisant, pour qu'elle intervienne d'une manière très sensible dans le phénomène observé ; si on place les métaux dans des gaz différents, pour étudier les différences de potentiel qui s'y manifestent, sans s'occuper de la couche d'air qui adhère à la surface de ces métaux, les conclusions qu'on en tire ne peuvent pas être considérées comme exactes. Il faut donc, si l'on veut avoir des résultats comparables, commencer par éliminer cette couche gazeuse adhérente à la surface des métaux.

Les premiers essais de M. F. Spiers ont été faits en employant, pour mesurer la différence de potentiel de contact entre deux plaques métalliques, une méthode qui est une combinaison de celle d'Ayrton et Perry et de la méthode de compensation de Lord Kelvin.

Les résultats définitifs ont été obtenus en employant la méthode originale de Volta concurremment avec celle de compensation de Lord Kelvin.

Le dernier appareil employé par l'auteur se compose d'un tube de verre dans l'intérieur duquel se trouve une lame de platine isolée A

suspendue à un autre tube de verre B. Une seconde lame C (d'abord en platine, ensuite en acier) est suspendue au moyen de deux fils d'aluminium soudés en haut du tube de verre de sorte qu'elle pend librement, parallèlement à la première plaque et à une très faible distance de celle-ci.

La lame C porte en outre trois taquets qui viennent buter un tube L en aluminium relié à la terre en portant une feuille d'aluminium entourant à moitié la lame A et qui se trouve ainsi entourée par un écran communiquant avec le sol. La lame C pouvait être écartée de A au moyen d'un électro-aimant placé en dehors du tube. Si la lame C était en aluminium elle portait (pour que l'électro-aimant puisse agir sur elle) une mince plaque de fer par derrière.

Pour pouvoir chasser la couche d'air qui adhère aux lames, M. Spiers commence d'abord par chauffer le tube de verre (la partie inférieure de ce tube était à cet effet en verre dur) ; par un ajutage latéral on peut faire le vide dans le tube et y laisser rentrer le gaz désiré.

En faisant le vide dans le tube, en le chauffant et en le laissant se refroidir lentement, on constate une diminution de la différence de potentiel de contact, diminution causée par l'oxydation de la surface de l'aluminium.

Voici les résultats obtenus avec ce métal.

Plaque C, polie ; différence de potentiel initiale	$e = 1{,}45$ volt
Tube chauffé ; vide de $\frac{1}{230}$ mm, après refroidissement avec une pression de $\frac{1}{2\,500}$ mm	$e = 0{,}28$ »
Après 15 heures avec une pression de $\frac{1}{80}$ mm	$e = 0{,}31$ »
Après 15 heures avec une pression de $\frac{1}{8\,000}$ mm	$e = 0{,}31$ »
Le tube ouvert à l'air pendant trois jours	$e = 0{,}02$ »
La lame retirée et repolie a donné ensuite	$e = 0{,}72$ »
En chauffant le tube en plein air, la lame donne.	$e = 0{,}30$ »
La lame repolie ensuite donne. .	$e = 1{,}10$ »
L'oxydation de la lame d'aluminium était donc manifeste. Pour éliminer l'oxygène de l'air qui causait cette oxydation, l'auteur fait le vide dans le tube sous l'hydrogène ; il obtient alors. .	$e = 0{,}91$ »
Mais en chauffant fortement avec un vide de $\frac{1}{10\,000}$ mm il obtient	$e = 0{,}09$ »
Puis, après l'entrée de l'air sec. .	$e = -0{,}15$ »
La lame a ensuite été retirée et repolie ; elle donnait dans ces conditions.	$e = 1{,}20$ »

La conclusion qu'on peut tirer de ces résultats est la suivante.

Même dans un vide sous l'hydrogène pur poussé très loin, à la pression minime de $\frac{1}{10\,000}$ mm de mercure, et après quatre nettoyages des plaques d'aluminium soumises à l'expérience dans ce gaz, il reste encore assez d'oxygène adhérant à la surface de ces plaques pour les oxyder complètement.

Maintenant, si cet oxygène est en quantité suffisante pour produire l'oxydation du métal; il suffira aussi pour charger la lame (comme la théorie électrolytique de l'effet Volta l'exige). On ne peut donc pas, dans ces conditions, décider quel est le siège de la force électromotrice dans le phénomène de Volta.

Mais ces difficultés multiples n'ont pas découragé l'auteur ; M. Spiers a, en effet, essayé finalement des méthodes chimiques pour pouvoir arriver à éliminer presque complètement l'oxygène qui adhérait à la surface des lames. Ces méthodes, ne sont pas applicables à l'aluminium car l'affinité de l'aluminium pour l'oxygène est beaucoup plus grande que celle de l'hydrogène pour l'oxygène ; ainsi, l'oxyde d'aluminium qui se forme à la surface des plaques ne peut pas être réduit par l'hydrogène (du moins par les procédés connus jusqu'à présent). Mais il y a un autre métal qui peut remplacer avantageusement l'aluminium : c'est le fer. La différence de potentiel entre le fer et l'aluminium est en effet suffisamment élevée (0,3 à 0,5 volt) ; le fer peut en outre être chauffé à une température assez élevée sans crainte de fusion ou volatilisation et l'oxyde de fer formé est réductible dans un courant d'hydrogène au rouge-blanc. Mais il y a encore une autre propriété assez remarquable qui est partagée par le fer et le platine : c'est que les deux métaux sont *transparents* pour l'hydrogène, à une température élevée (au rouge); en chauffant donc le couple Fe — Pt, dans un courant d'hydrogène au rouge, l'hydrogène pénètre dans les pores des deux métaux, se combine à l'oxygène qui s'y trouve, réduit l'oxyde

de fer et donne comme produit final de combinaison, de l'eau qui peut être absorbée par de l'anhydride phosphorique ; ajoutons encore que le fer et le platine absorbent, en se refroidissant, de l'hydrogène. Il y avait donc beaucoup de chance pour pouvoir remplacer l'oxygène qui se trouve à la surface des lames de fer et de platine, intégralement par de l'hydrogène ; en d'autres termes la valeur de la différence de potentiel entre les deux métaux pourrait devenir constante et c'est cette différence de potentiel qui sera *la différence de potentiel de contact entre le fer et le platine dans une atmosphère d'hydrogène*. Mais ces conclusions *a priori* ne sont pas vérifiées exactement par l'expérience. L'expérience apprend plutôt une autre loi, assez générale : c'est que le *temps* influe considérablement sur cette différence de potentiel de contact. Si on mesure, en effet, la différence de potentiel de contact entre les deux métaux immédiatement après leur refroidissement dans l'atmosphère d'hydrogène et ensuite à des intervalles de temps quelconques, on s'aperçoit facilement qu'elle varie avec ces intervalles de temps.

L'auteur trouve pour la différence de potentiel de contact entre le fer et le platine dans une atmosphère d'hydrogène, $e = -0{,}60$ volt (le platine étant + envers le fer) ; en laissant entrer de l'air dans l'appareil cette différence de potentiel de contact augmente dans le sens positif et après 16 heures elle atteint la valeur $e = -0{,}17$ volt.

Quelle conclusion peut-on tirer de ces expériences et de ces nouveaux résultats ? L'auteur est d'avis que la théorie électrolytique de l'effet Volta est confirmée par ses expériences : c'est-à-dire que *l'effet Volta est une action électrolytique du milieu* ou des milieux qui entourent les métaux de nature différente. Nous avons vu, en effet, que la différence de potentiel de contact entre le Fe et le Pt *dans une atmosphère d'air* était $e = +0{,}37$ volt ; *dans une atmosphère d'hydrogène* cette différence de contact prend la valeur *négative* de $e = -0{,}60$ volt ; dans un mélange d'air et d'hydrogène (en laissant entrer de l'air dans le tube qui contient les lames dans une atmosphère d'hydrogène) après 16 heures de contact $e = -0{,}17$ volt ; enfin en chauffant les lames dans l'air pour activer le remplacement de l'hydrogène par de l'air cette différence de potentiel atteint $+0{,}22$ volt.

L'auteur finit son mémoire en indiquant deux expériences intéressantes à faire :

1° Chauffer une plaque de fer au rouge pendant plusieurs jours dans un courant d'hydrogène pur et sec, la laisser se refroidir dans le même gaz pendant plusieurs jours et mesurer alors la différence de potentiel de contact entre cette plaque et une autre identique, mais qui n'a pas subi le traitement de plus haut ;

2° Même expérience avec deux lames de platine.

Eugène Néculcéa.

Sur l'influence de la proximité d'une masse sur la résistance électrique de conduction, par Dr. G. Gorre, (*Philosophical Magazine*, t. XLIX, p. 558, juin 1900).

On connaît les recherches antérieures de l'auteur (*Phil. Mag.* juin 1897) sur l'influence de la proximité de certaines substances sur l'action d'une pile voltaïque : il avait reconnu que la présence d'une masse dans le voisinage d'une des électrodes d'une pile voltaïque altérait sa force électromotrice. Dans la présente note, l'auteur se propose d'étudier la même question au point de vue de la résistance électrique de conduction. La masse métallique qu'il a employée dans ces recherches est un cube de plomb pesant 80 livres, coupé verticalement en deux et dans l'intérieur duquel on pouvait introduire une bobine et un thermomètre ; l'isolement thermique et électrique était aussi parfait que possible. Le courant employé provenait d'une pile à éléments Cu — Zn et SO^4H^2 ; le nombre de ces éléments variait de 1 à 400. Le courant provenant de cette pile était en dérivation sur la bobine qui se trouvait à l'intérieur de la masse de plomb et sur une autre bobine pareille à la première et qui était noyée dans de la paraffine ; le tout était relié aux bornes d'un galvanomètre très sensible, monté en différentiel. Les nombreux essais de l'auteur ne lui ont pas donné de résultat positif.

Eugène Néculcéa.

Le Gérant : C. NAUD.

Tome XXIV. Samedi 11 Août 1900. 7e Année. — N° 32

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

L'EXPOSITION UNIVERSELLE

LES FONTAINES LUMINEUSES ET LE CHATEAU D'EAU

Le succès des fontaines lumineuses en 1889 fut si vif, qu'il inspira à l'administration de l'Exposition le désir de faire plus encore et mieux. Un concours fut ouvert, auquel prirent part plusieurs des plus importantes maisons françaises. Le projet de MM. Vedovelli et Priestley se signala d'emblée à l'attention de l'administration par plusieurs avantages caractéristiques, dont le plus original était la possibilité d'illuminer des nappes d'eau très importantes.

Pour arriver à ce but, les nappes sont divisées en gouttelettes d'une façon aussi complète que possible. Car, s'il est facile de rendre celles-ci lumineuses et de les irriser les unes par les autres, il est au contraire impossible de le faire pour des nappes pleines, qui même avec de nombreux foyers placés derrière, n'apparaîtraient qu'éclairées et non lumineuses par elles-mêmes. L'éclairement de ces gouttelettes est obtenu par des rangées de lampes incandescentes de couleurs différentes et dont nous verrons un peu plus loin la disposition. Des résistances appropriées permettent de passer d'une couleur à une autre sans extinction, et en produisant toutes les couleurs intermédiaires. Enfin l'idée de partager les effets lumineux en bandes horizontales et verticales, permet par un jeu bien réglé et mécanique, de donner l'illusion de mouvements lumineux de translation horizontalement et verticalement, et même de rotation et de tournoiement en combinant les deux mouvements précédents.

Quant à l'illumination des gerbes et des jets d'eau, elle est obtenue par des foyers à arc, munis de réflecteurs et de miroirs de réflexion, à travers des glaces-dalles insérées dans les radiers des bassins. Des écrans colorés sont utilisés pour les jeux de lumière. Ces

écrans qui, en 1889, étaient manœuvrés à la main, ce qui supprimait toute harmonie dans le spectacle et nécessitait un personnel nombreux, coûteux et souvent fantaisiste, sont solidaires d'un système mécanique ingénieux et pratique emprunté au domaine si vaste de l'électromagnétisme. Les appareils de commande sont fort simples tout en étant très sûrs.

Dans ces conditions, MM. Vedovelli et Priestley furent officiellement chargés de l'étude plus approfondie de cet intéressant problème. Nous avons pu, grâce à l'amabilité bien connue de ces constructeurs, ainsi que de leur ingénieur en chef M. Cleiren, nous rendre compte de l'ingéniosité de leur système et de la façon très originale dont ils ont surmonté toutes les difficultés.

Bien entendu, tous les foyers, et toute la commande sont dissimulés aux yeux des spectateurs. Mais pour ceux, — et ils seront nombreux — qui voudront se rendre compte de tout le mécanisme

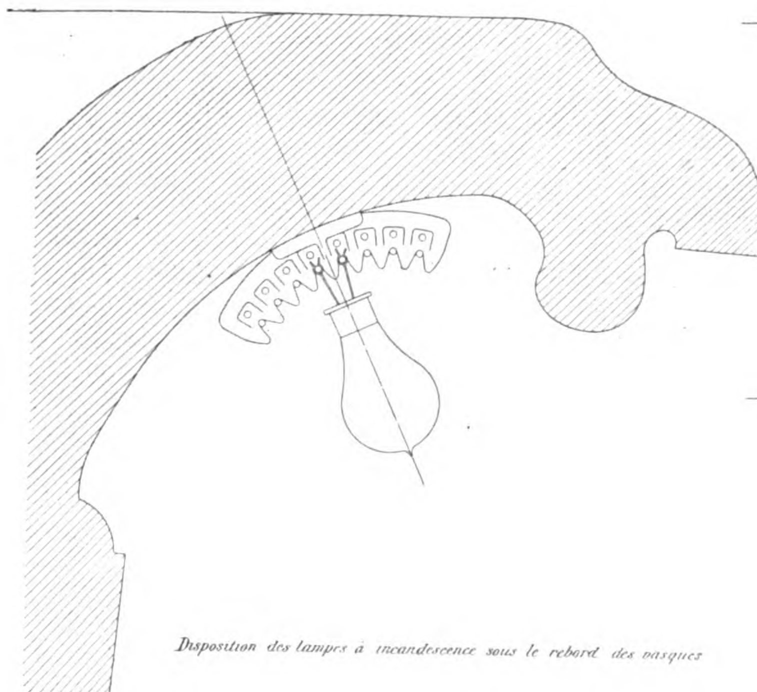


Fig. 1. — Eclairage des nappes et cascades.

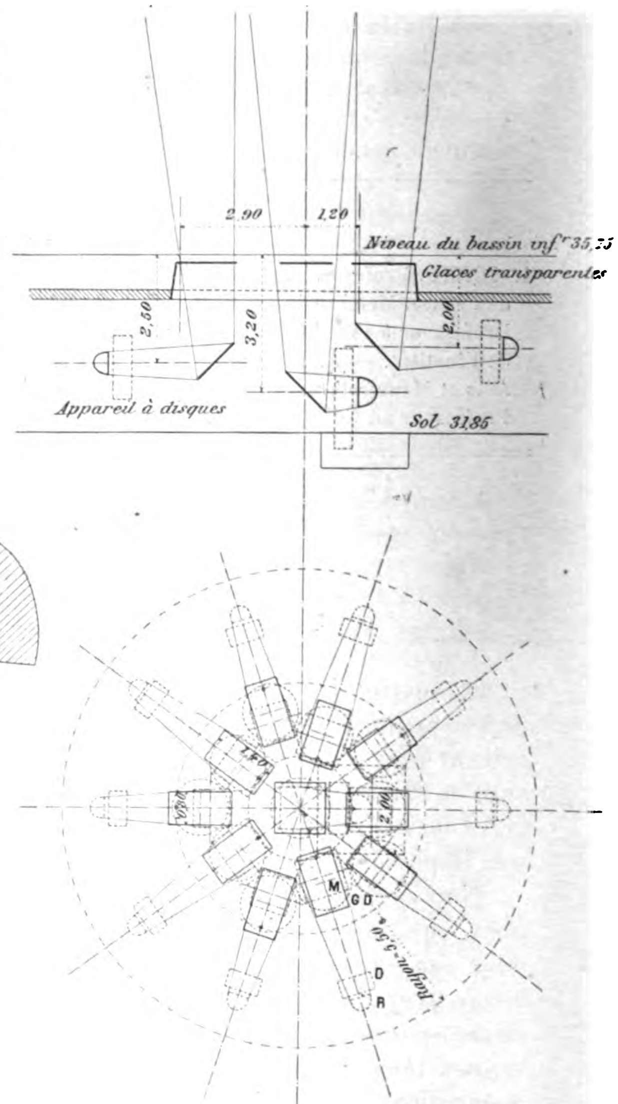


Fig. 2 et 3. — Eclairage des gerbes verticales.

adopté, des galeries souterraines permettront de visiter toutes les dispositions prises, dans les sous-sols du Château d'Eau. Les visiteurs pourront même, dans la chambre qui contiendra les appareils automatiques et les tableaux de distribution, grâce à un jeu de miroirs et un objectif puissant, jouir du spectacle lumineux qui se jouera au-dessus de leur tête, et dont l'image viendra se faire sur un écran convenablement placé. Ce sera en même temps pour le mécanicien un excellent moyen de contrôler la bonne marche de tous les appareils.

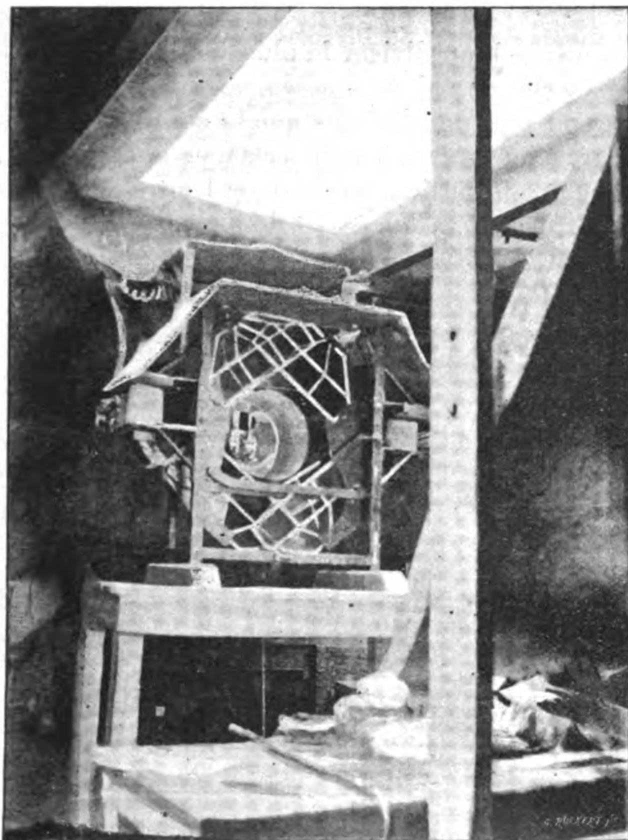


Fig. A.— Projecteur et appareil à disques, vue de face.

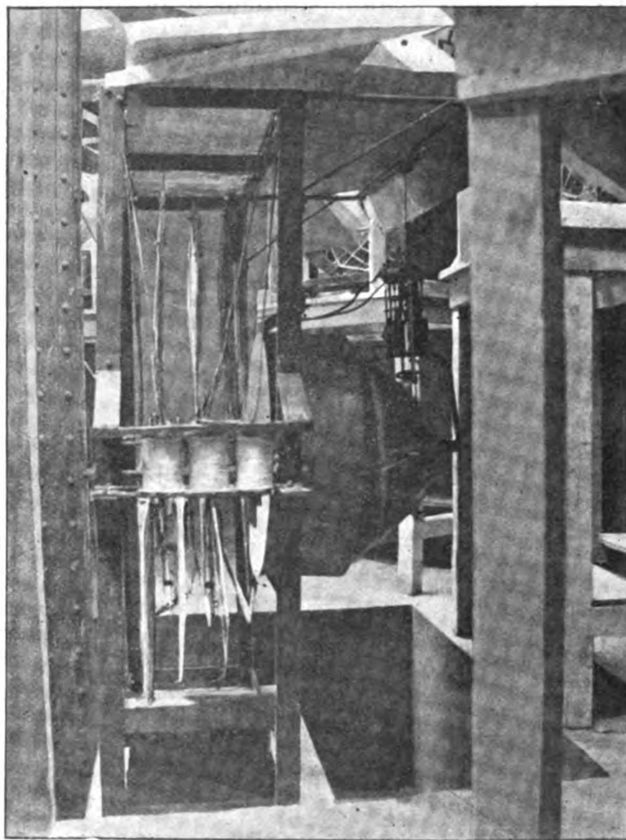


Fig. B. — Appareil à disques, vue de côté.

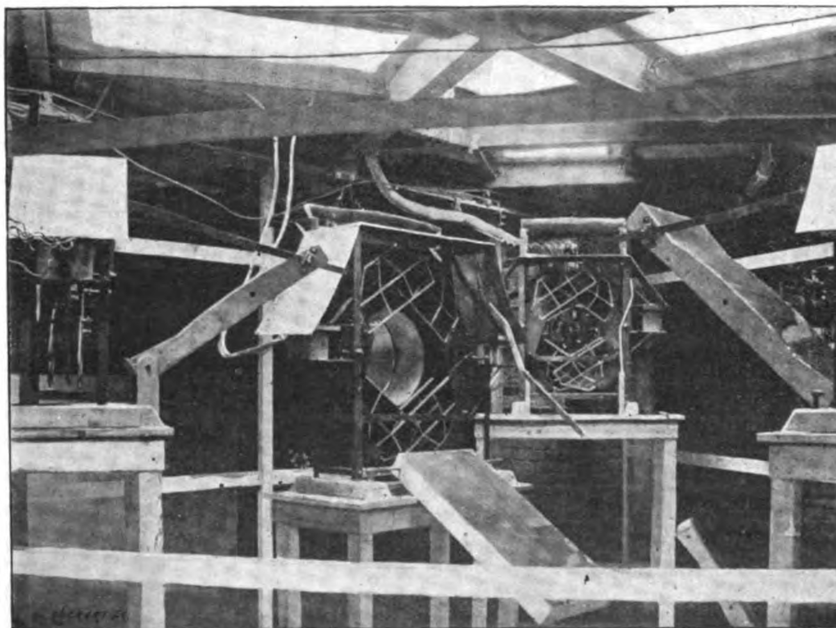


Fig. C. — Vue d'un groupe de trois projecteurs.

Entrons maintenant dans le détail technique du problème :

I. Division et éclairement des nappes et cascades. — Pour diviser le plus possible l'eau des nappes, les rebords des vasques portent des sortes de peignes en fer entre les dents desquels sont insérées des lamelles de verre, d'autant plus nombreuses que la chute d'eau est plus grande. Pour les grandes cascades, il est même nécessaire de partager la nappe en deux autres, dont l'une est divisée artificiellement à la partie supérieure et l'autre naturellement à la partie inférieure. Dans ce but les rebords des vasques sont doublés.

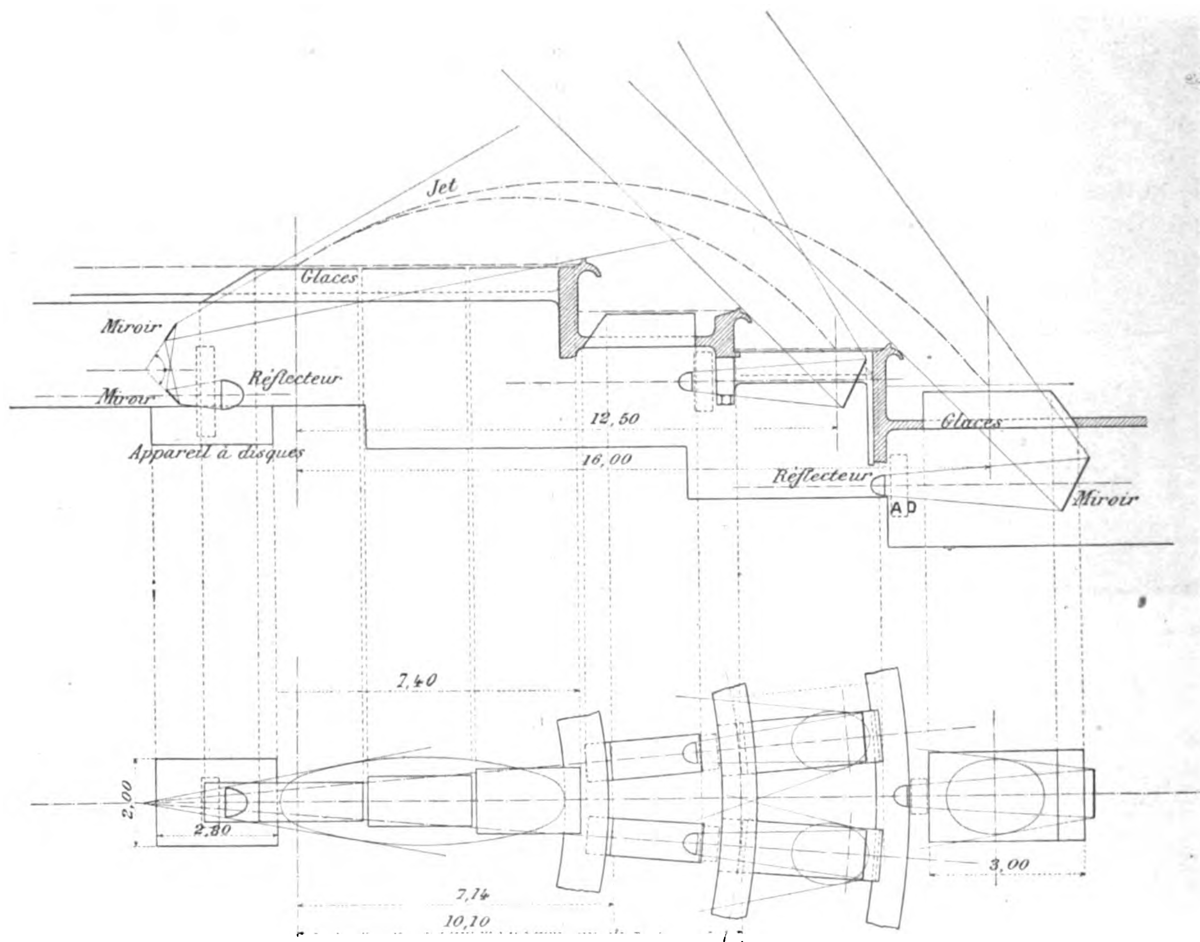


Fig. 4 et 5. — Eclairage des gerbes paraboliques.

Comme nous l'avons dit, l'éclairement de ces nappes est obtenu, et cela est tout à fait nouveau, par des lampes à incandescence logées sous le rebord des vasques, ce rebord formant d'ailleurs miroir (fig. 1). Si la chute est assez grande, d'autres rangées de lampes sont placées dans la maçonnerie des vasques, toutes ces lampes étant « chapeautées » — nous reviendrons toùt à l'heure sur le chapeautage. — Enfin, souvent, on a recours au dispositif du miroir elliptique également logé dans la maçonnerie, et sur lequel nous donnons plus loin quelques détails.

II. Éclairement des gerbes verticales. — Pour les gerbes verticales, on les éclaire à travers les dalles vitrées des radiers des bassins au moyen de foyers à arc de 10, 12, 15, 25,

75 ampères et de miroirs de réflexion soit en verre pour les faibles intensités, soit en fonte recouverte de vif argent pour les fortes intensités (fig. 2 et 3).

III. Éclairement des gerbes paraboliques. — Pour les gerbes paraboliques, il est nécessaire de les éclairer d'abord par un faisceau réfléchi, depuis leur point de départ, et comprenant la majeure partie de la gerbe, et ensuite d'éclairer la pluie retombante au moyen d'une glace insérée dans le radier et d'un foyer placé derrière, lequel sera toujours de même couleur que le foyer éclairant le départ de la gerbe (fig. 4 et 5).

Comme le point de chute de la gerbe est incertain et variable, on est conduit à donner aux glaces des dimensions assez grandes (fig. 4 et 5), et il y a à craindre que par instant la surface de cette glace soit découverte et n'apparaisse comme une surface lumineuse dont la lumière crue ferait mauvais effet. On crée alors au point de chute un bouillonnement artificiel au moyen de tubes en plomb perforés et qui servent à faire rejaillir l'eau artificiellement pour en couvrir toute la surface de la glace.

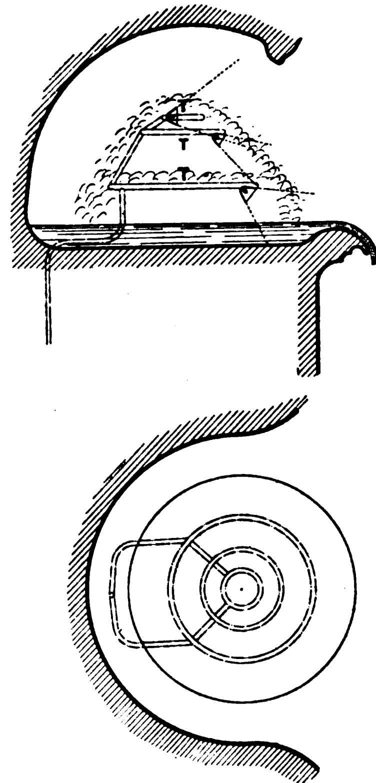


Fig. 6 et 7. — Eclairage de la source principale supérieure.

IV. Eclairement de la source principale supérieure. — Un procédé analogue sert à l'éclairement de la source bouillonnante du fond de la grande niche.

L'eau arrive dans trois tubes circulaires T (fig. 6 et 7) et s'échappe en petites gerbes grâce aux orifices assez nombreux percés dans ces tubes. Les foyers à incandescence, solidairement reliés à ces tubes, sont placés comme l'indique la figure. Les deux tubes supérieurs sont reliés au tube inférieur par un système à charnière qui permet aux premiers de venir s'insérer à l'intérieur du grand tube, tout l'ensemble étant à éclipse et disparaissant lorsque les eaux ne jouent pas.

V. Dispositions générales. — Le chapeautage dont nous avons parlé plus haut est un artifice permettant de rendre invisibles les lampes à incandescence qui se trouvent pourtant en façade. On peint la partie antérieure de l'ampoule de façon à ce que la lumière qui passe à travers la partie peinte soit égale à la lumière réfléchie par le réflecteur placé derrière. Dans ces conditions, une surface recouverte de ces lampes apparait pour l'œil placé à quelque distance comme uniformément éclairée.

Quant au miroir elliptique, il est logé dans la maçonnerie; une fente est simplement ménagée pour le passage, sous un angle convenable, des rayons émanant du foyer, qui recueille par réflexion tous les rayons de la source lumineuse, placée à l'autre foyer (fig. 8).

Pour que, cette fente, pendant le jour n'apparaisse pas ombrée, on peut soit l'éclairer d'une teinte semblable à celle des parois voisines, soit la fermer par un volet convenablement peint.

Nous ajouterons que les jeux de lumière ne comportent que quatre couleurs. Ce sont : le bleu, le blanc, le rouge et le jaune. Mais nous avons vu comment on obtenait les couleurs intermédiaires.

Le poste des pompes se trouve au sous-sol sous la grande niche. Il contient également les deux moteurs électriques, type des moteurs de tramways, qui actionnent ces pompes. Quant au poste de commande, dont nous avons déjà parlé, il se trouve également au sous-sol, à la partie antérieure droite du Château-d'Eau. Il possède 3 appareils automatiques de distribution commandés par un seul moteur électrique; 2 tableaux, l'un pour les foyers à incandescence, l'autre pour les arcs.

L'énergie accordée par le service des installations électriques est de 450 kilowatts. Cette énergie est ainsi répartie : 300 kilowatts pour l'incandescence, 100 kilowatts pour les arcs, 50 kilowatts pour le relèvement des eaux du bassin inférieur jusqu'au bouillonnement supérieur. Le courant utilisé est à 500 volts sur 3 fils, c'est-à-dire 2 ponts de 250 volts. Les lampes à incandescence sont des lampes de 30 à 50 bougies faites pour fonctionner sous 220 volts. En les poussant à 250, on les grille rapidement, mais, par contre, on obtient obtient un vif éclairement.

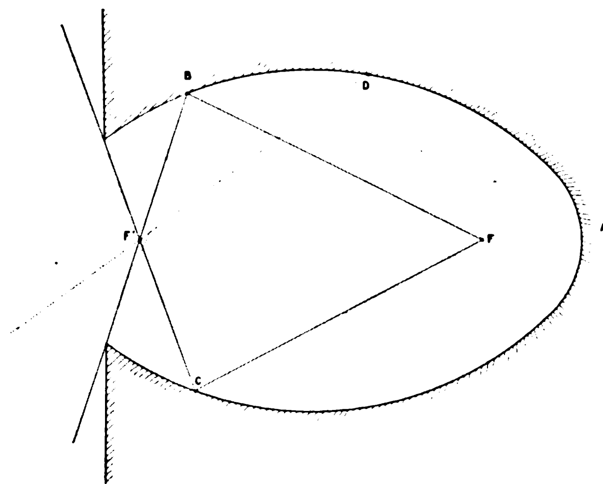


Fig. 8. — Miroir elliptique.

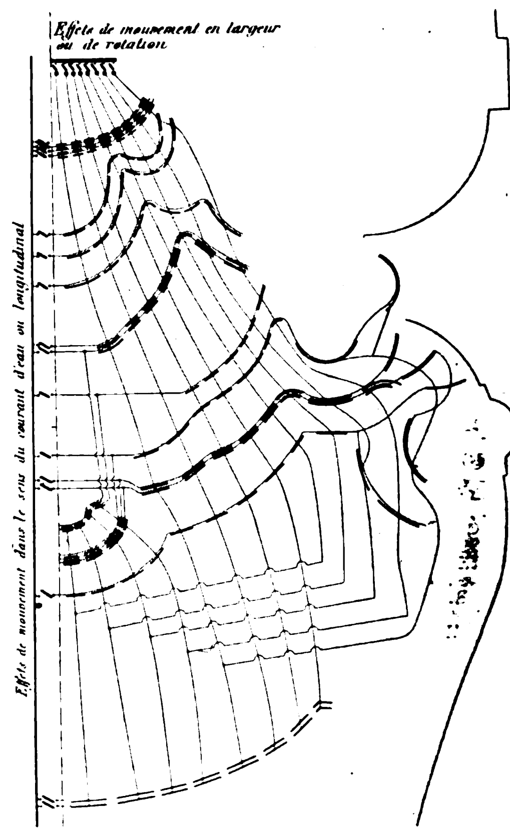


Fig. 9. — Disposition des circuits pour l'éclairage des nappes et cascades.

Les foyers à arc sont de 10, 12, 15, 25 et 75 ampères par 5, 4 et 3 en tension.

Tous les miroirs réflecteurs sont paraboliques.

Pour l'éclairement des nappes, les lampes à incandescence étant disposées par bandes, et les effets lumineux s'effectuant par bandes horizontales et verticales, c'est l'un des pôles qui est sectionné pour les bandes horizontales, et le pôle contraire pour les autres (fig. 9).

La partie hydraulique a été confiée à MM. Pérignon et Vinet. L'eau nécessaire est fournie de la façon suivante :

900 litres par seconde à la pression de 47,50 m ; 300 litres par seconde à la pression de 64,45 m ; 200 litres par seconde à la pression de 33 m (relevage).

Les figures que nous publions représentent :

La figure n° 10, les chambres et fondations des bassins ; la partie droite montre les fondations et la partie gauche montre le plan des dispositions des bassins sans le radier.

La figure n° 11 montre la disposition des glaces-dalles dans le radier des bassins.

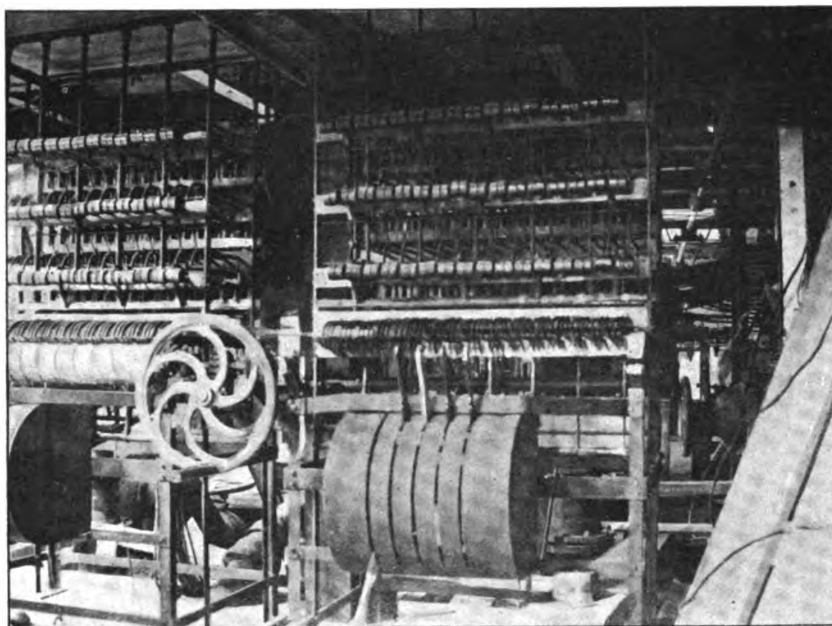


Fig. D. — Tableaux pour les circuits à arc.

La figure n° 12, le plan des sous-sols montrant la circulation possible du public.
Les figures A à F, diverses vues prises dans les sous-sols.

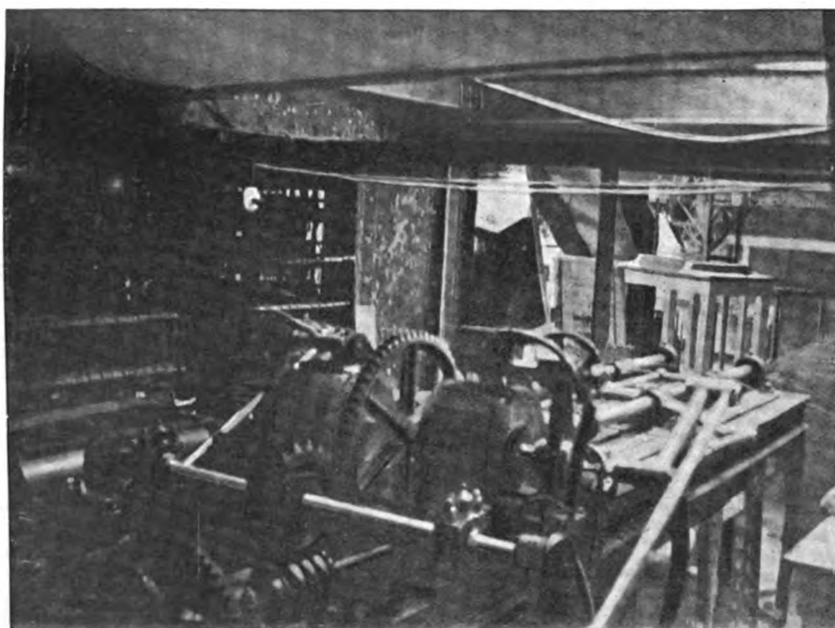


Fig. E. — Vue du rhéostat de réglage des circuits à incandescence.

VI. Circuits électriques. — En ce qui concerne les appareils employés et la disposi-

Fig. 10. — Chambres et fondations des bassins.

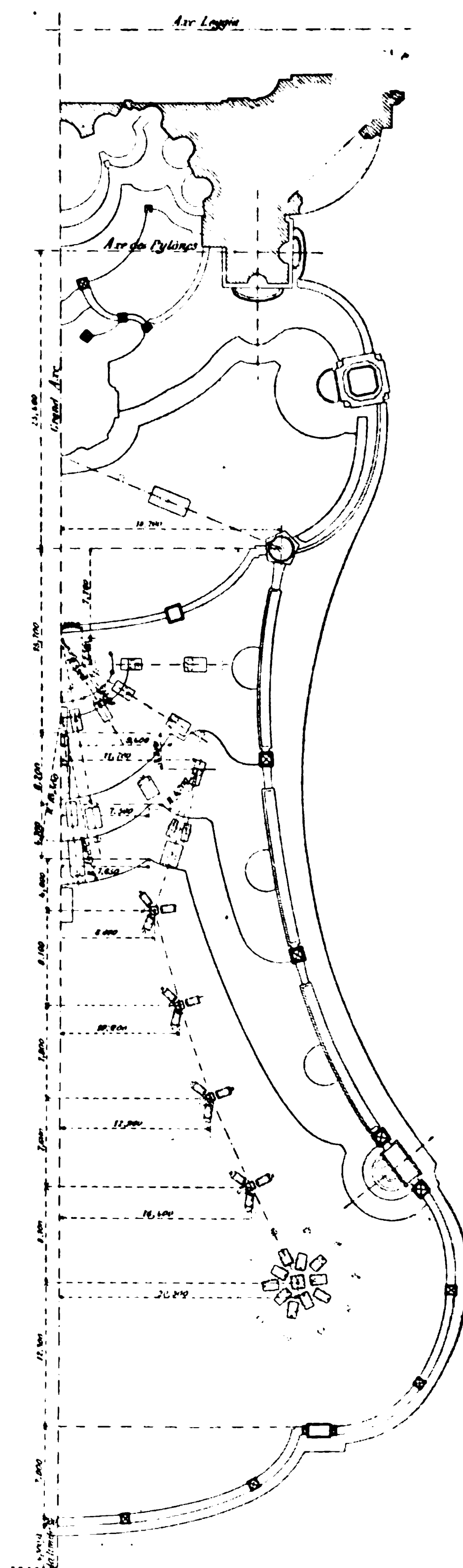


Fig. 11. — Disposition des glaces-dalles dans le radier des bassins.

tion des circuits nous examinons successivement l'éclairage par l'arc et l'éclairage par l'incandescence.

1° *Circuits d'arc.* — Le courant venant du tableau général à courant continu (établissements Clémançon) arrive à un tableau fort simple, composé d'interrupteurs, soit pour l'allumage, soit pour l'extinction des foyers. D'autres circuits sont destinés à envoyer le courant dans les solénoïdes qui commandent la manœuvre des disques de couleur. Tous ces circuits sont rassemblés à un appareil général constitué par des godets de mercure, au-dessus desquels des pointes solidaires de leviers, peuvent, par un mécanisme absolument identique à celui d'un piano mécanique, établir ou interrompre le courant. Cet appareil est représenté par la figure 13. Le tambour T mu par un moteur, soulève grâce à des têtes de vis convenablement placées sur sa surface, les touches *t*. Celles-ci agissent par des tendeurs *k* sur des pièces telles que *m* portant à une extrémité les pointes P et à l'autre extrémité des contre-poids CP.

Enfin à la base de l'appareil se trouvent des leviers généraux tels que ABC mus par des manettes L destinés :

1° Un levier pour allumer ou éteindre toutes les couleurs à la fois;

2° Un levier pour allumer toute une couleur (il y a donc 3 de ces leviers).

3° Un levier destiné à soulever toutes les touches *t* pour pouvoir facilement remplacer le cylindre T (levier A).

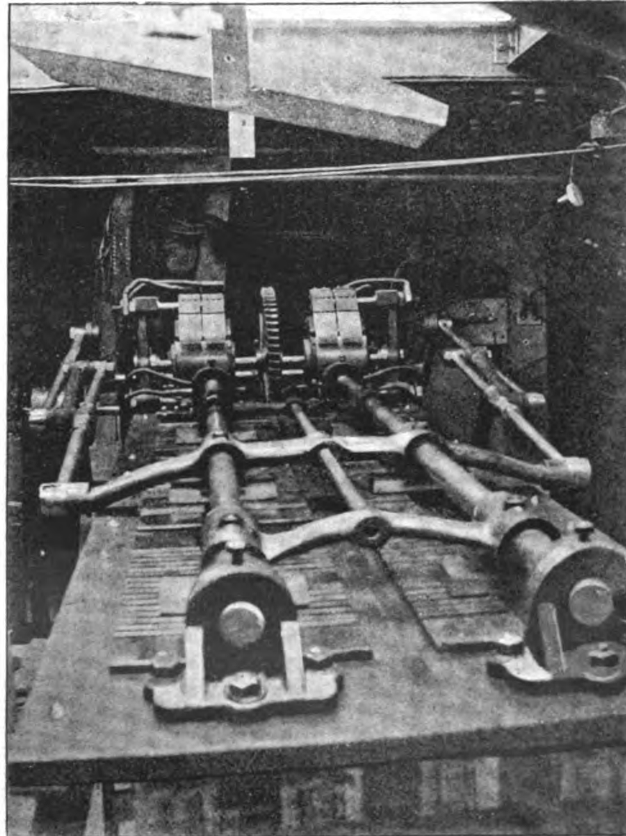


Fig. F. — Vue en bout du rhéostat de réglage des circuits des lampes à incandescence.

L'appareil que nous venons de décrire est donc le *distributeur* des courants destinés au jeu des appareils à disques de couleur. Ces derniers sont constitués par un bâti de forme hexagonale supporté par une table et placé entre l'arc et la glace de réflexion. Les disques sont formés de deux moitiés séparées et équilibrées l'une par l'autre, et ayant un mouvement de mâchoire. La carcasse métallique de ces demi-disques est solidaire du noyau d'un solénoïde, et les demi-disques s'ouvrent et se ferment suivant que le courant est interrompu ou passe dans le solénoïde. Pour les petits appareils, un seul solénoïde suffit à la manœuvre des deux demi-disques, articulés autour de deux axes parallèles et parfaitement équilibrés. Pour les grands appareils, chaque demi-disque est mû par un solénoïde particulier. La couleur blanche s'obtient sur les disques ouverts, et le noir théorique, par tous les disques fermés. Comme il serait impossible d'allumer à la fois et brusquement une centaine d'arcs, la première opération consiste à fermer tous les disques, on allume alors les foyers en fermant les interrupteurs du tableau d'arcs, on procède au règlage, puis cela

***

fait, on met le moteur de l'appareil distributeur automatique en marche après y avoir adapté le tambour, correspondant à un spectacle déterminé. Ce spectacle étant terminé

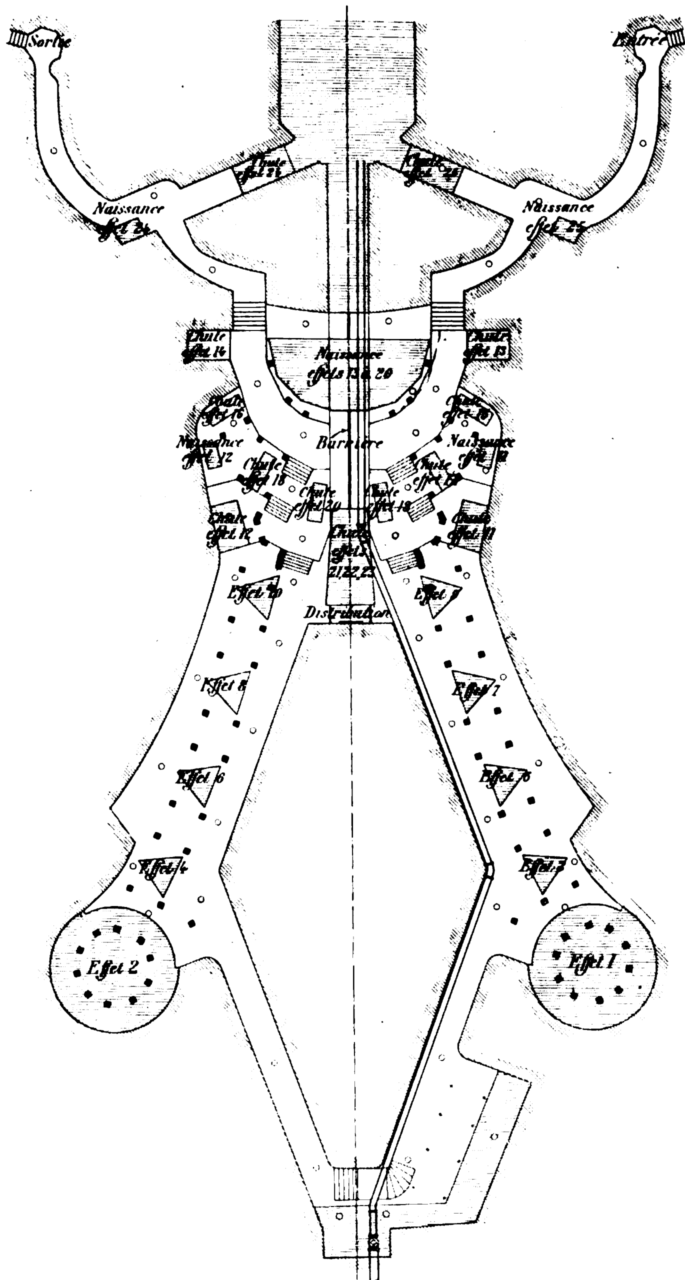


Fig. 12. — Plan des sous-sols.

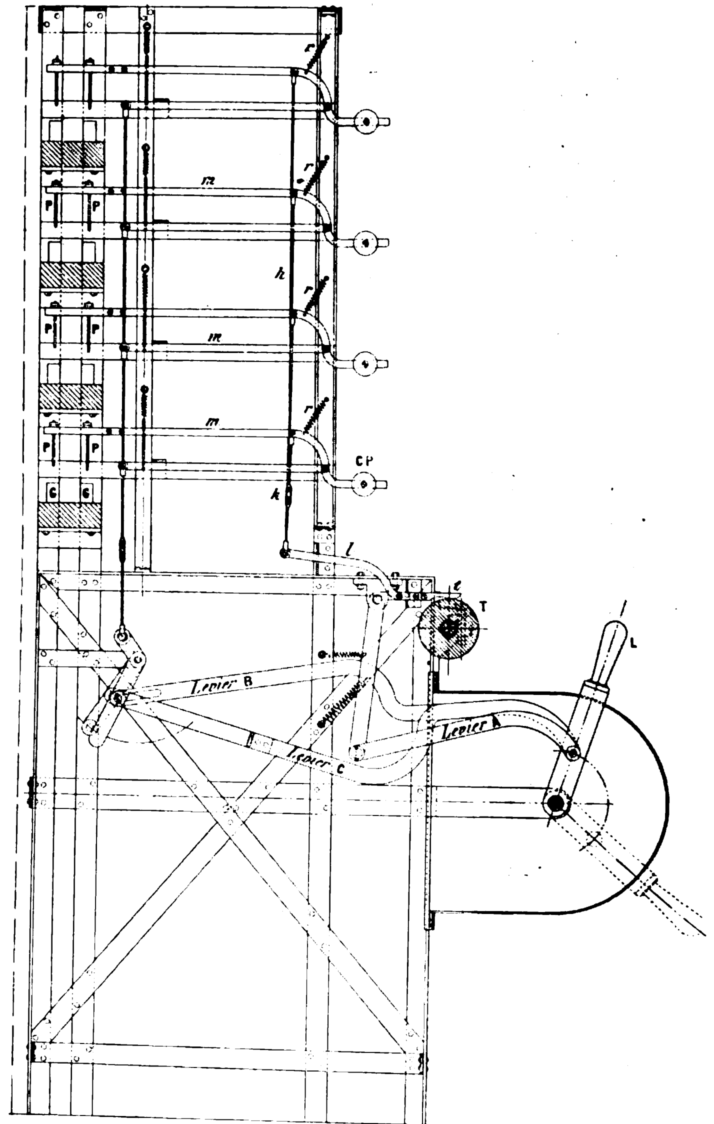


Fig. 13. — Tableau de commande des circuits d'arcs.

on peut, en changeant le tambour grâce à l'artifice que nous avons vu, en commencer un autre et ainsi de suite, sans extinction.

2° *Circuits d'incandescence.* — La figure 9 montre la disposition des rangées de lampes à incandescence par bandes horizontales et verticales.

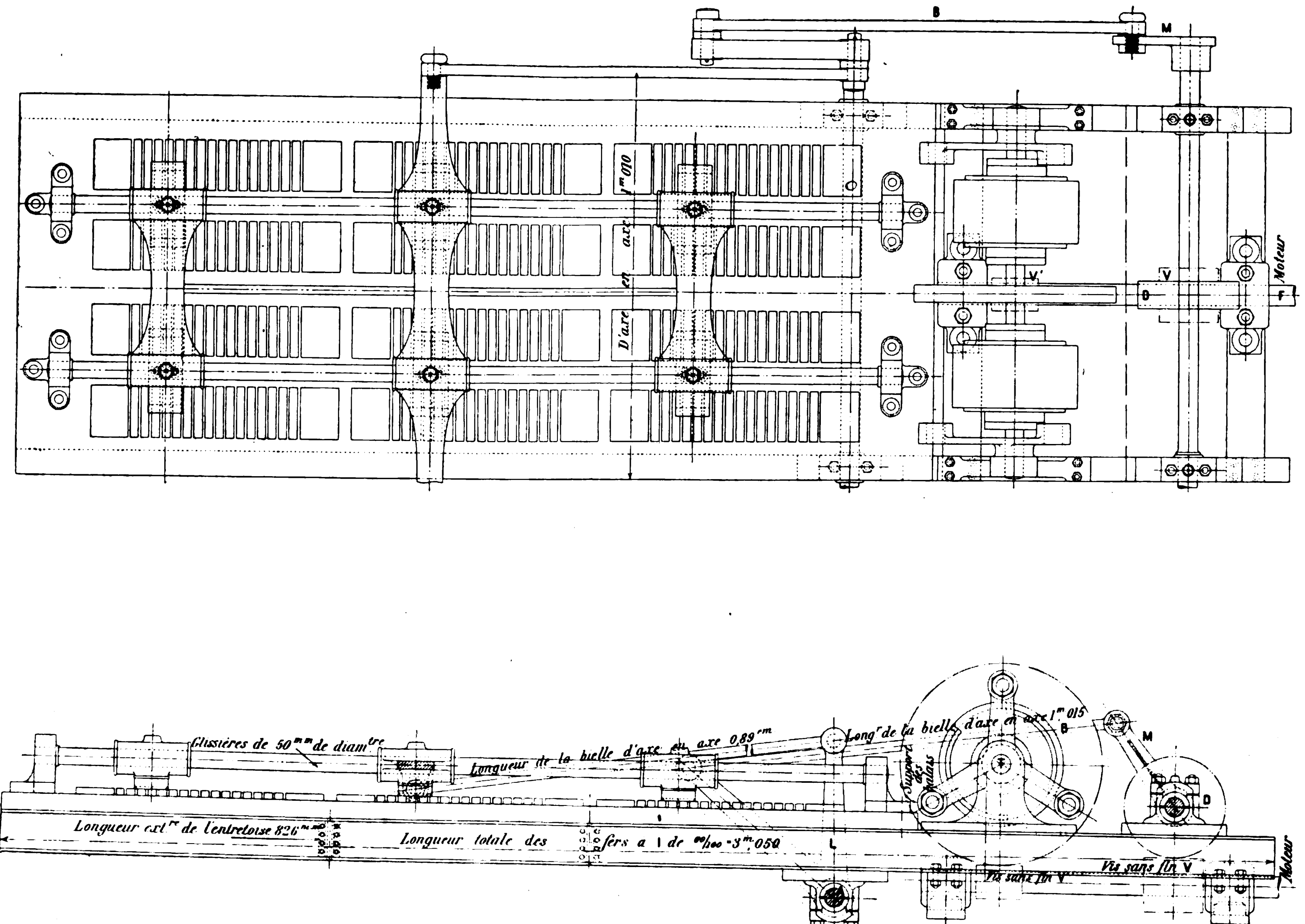


Fig. 14 et 15. — Plan et élévation du jeu d'orgue des circuits à incandescence.

Ainsi que nous l'avons dit, c'est l'un des pôles qui est sectionné pour les premières, et le pôle contraire pour les secondes. D'où deux distributeurs automatiques absolument semblables, d'ailleurs, à celui que nous avons décrit pour les arcs.

Le courant arrive à un tableau de distribution et se rend aux circuits des lampes soit directement soit en passant par un rhéostat spécial et dont nous allons voir l'utilité.

Le tableau ne contient donc que des inverseurs. Quant au rhéostat il a pour but d'obtenir des jeux de lumière que M. Vedovelli et Priestley ont appelés isochromes. On passe d'une couleur à une autre en passant par toutes les teintes intermédiaires.

Etant donnée son importance, ce rhéostat est partagé (fig. 14 et 15) en trois parties, pour permettre une largeur de touches suffisante.

La commande se fait mécaniquement au moyen d'un moteur situé au bout de l'arbre F. Cet arbre actionne par une vis sans fin V, une roue D munie d'une manivelle M et d'une bielle B réalisant une disposition analogue à ce qui est employé dans la distribution Corliss, mais en sens inverse, de façon à transformer le mouvement de rotation en mouvement rectiligne alternatif des curseurs sur les touches successives du rhéostat. Ce mouvement s'effectue ainsi très régulièrement sur toute la longueur de la course. Une seconde vis sans fin V' fait tourner d'un mouvement très lent un tambour T sectionné de façon à introduire une nouvelle couleur au moment où toute la résistance est intercalée, de telle façon que la nouvelle couleur est introduite presque nulle, pendant que la précédente est à son maximum. A partir de cet instant, le curseur en se déplaçant augmente insensiblement la deuxième couleur qui, se mélangeant à la première donne toutes les teintes intermédiaires. Après quoi, le curseur en revenant en sens inverse, éteint insensiblement la première couleur. Et ainsi de suite pour la couleur suivante. En sortant du rhéostat le courant passe dans les appareils distributeurs.

E. Nelson-Uhry.

GAZOGÈNES RICHÉ [1]

Le principe de ces gazogènes et les applications diverses du gaz qu'ils fournissent sont déjà connus des lecteurs de *L'Éclairage Électrique* par les articles qui ont été publiés dans ce journal en 1898 et 1899 [2]. Depuis cette publication, la Compagnie du Gaz Riché a apporté à

---

[1] Exposé à l'annexe de Vincennes.

[2] T. Pausert. Gazogène Riché, t. XVII, p. 283-290, 12 novembre 1898 et t. XIX, p. 416-422, 17 juin 1899. Voir aussi t. XVII, p. 86, 8 octobre 1898.

Rappelons que le gaz Riché est produit par la distillation du bois, (ou autres matières organiques) dans une cornue de fonte verticale, portée à haute température. La charge de la cornue se fait par la partie supérieure ; le gaz produit s'échappe par la partie inférieure. Ce gaz se trouve ainsi obligé de traverser la couche de charbon incandescente résultant de la distillation des charges antérieures ; les vapeurs de carbures très condensés sont alors décomposées en carbures gazeux et la plus grande partie de l'anhydride carbonique transformée en oxyde de carbone. Il en résulte un gaz n'ayant besoin d'aucune épuration autre que celle qui résulte de son passage dans un laveur et ayant une grande puissance calorifique (3 000 calories environ par mètre cube). Aussi ce gaz convient-il fort bien non seulement pour l'alimentation des moteurs à gaz de ville, mais encore pour le chauffage et pour l'éclairage par incandescence.

Rappelons aussi que, d'après les articles cités, le prix de revient de ce gaz est extrêmement faible. Il résulte en effet d'essais faits sur des installations industrielles qu'on obtient 100 m³ de gaz par la distillation de 140 kg de déchets de bois, distillation qui exige la combustion d'au plus 56 kg de houille de qualité moyenne ou de 160 kg de déchets de bois. En comptant le bois à 15 francs la tonne et la houille à 20 francs la tonne, le prix du combustible nécessaire à la production de 100 m³ de gaz ressort à 3,22 fr. ou 4,5 fr. suivant le mode de chauffage employé ; mais il faut en retrancher la valeur des 26 kg environ de charbon de bois de bonne qualité produit par l'opération, soit environ 1,30 fr. en estimant ce charbon à 5 fr. les 100 kg. La dépense se trouve ainsi réduite à 1,92 fr. ou 3,20 fr. Si

ses appareils quelques modifications de détail; de plus elle a imaginé un dispositif très pratique dans le but d'empêcher les variations brusques de pression dans les conduites amenant le gaz aux moteurs et un autre ayant pour effet d'étouffer le bruit désagréable auquel donne lieu la détente des gaz brûlés au moment de leur échappement. L'installation qui a été érigée à l'annexe de Vincennes nous montre ces améliorations et appareils nouveaux.

Cette installation représentée par les figures 1 à 3 comprend un gazogène à deux cornues, pouvant fournir de 15 à 16 m³ de gaz à l'heure, un gazomètre d'une capacité de 5 m³ et les deux dispositifs dont nous venons de parler. Elle alimente : trois moteurs de trois chevaux effectifs des marques Otto, Le Gnome et Tangye; un four à moufle à récupération, système Emilio Damour, pour cuissons céramiques; divers brûleurs, chalumeaux et appareils de chauffage et d'éclairage; enfin, mais par intervalles seulement, un moteur Letombe d'une dizaine de chevaux, actionnant le ventilateur de mise en marche d'un gazogène Letombe. Les cotes des figures 2 et 3 montrent que l'encombrement de l'installation est extrêmement restreint.

---

l'on prend les prix moyen de 2,50 fr., le chauffage par le gaz Riché coûte moins de 1 centime les 1 000 calories, l'éclairage par incandescence moins de 1 huitième de centime la carcel-heure et la force motrice moins de 1 centime par cheval-heure.

Des essais récents confirment les chiffres indiqués pour la consommation de combustible et le rendement de la distillation.

Ainsi dans des essais effectués le 18 janvier dernier à la cartoucherie de Vincennes avec un gazogène à six cornues, 650 kg de déchets de bois (dont 350 kg de vieilles caisses garnies de clous et 300 de bois dur de déchets de charronage) ont été distillés en 10 heures en brûlant dans les foyers, allumage compris, 350 kg de houille et ont produit 411,7 m³ de gaz et 130 kg de charbon de bois. La houille valant 30 fr la tonne, le bois blanc 10 fr, le bois dur 15 fr, et la main-d'œuvre coûtant 4,50 fr (journée d'un ouvrier), la dépense totale a été de 23 fr. En en retranchant 6,50 fr, représentant le prix à 5 fr les 100 kg, des 130 kg de charbon de bois produite, il reste une dépense nette de 16,50 fr pour la production de 411,7 m³ de gaz; le prix de revient du mètre cube est donc de 0,04 fr et il s'abaisserait à 0,026 fr si l'on comptait le charbon de bois à 9,38 fr les 100 kg, prix auquel la cartoucherie achète le charbon de bois employé par elle pour le chauffage de certains fours.

Le gaz produit à la cartoucherie est utilisé au chauffage de deux fours à recuire qui, pour une marche de 10 heures, consomment 450 m³ de gaz Riché ou 270 m³ de gaz de ville. Avec ce dernier gaz, vendu 0,20 fr le m³, la dépense de chauffage est de 54 fr; avec le gaz Riché la dépense de gaz n'est que de $450 \times 0{,}04 = 18$ fr; en ajoutant 3 fr pour l'amortissement et 3 fr pour l'entretien journalier de l'installation on n'arrive encore qu'à 24 fr pour la dépense totale, soit 45 p. 100 de la dépense avec le gaz d'éclairage.

Aux glaceries de Saint-Gobain, des essais faits les 21 et 22 mars et du 31 mai au 2 juin avec un gazogène à 12 cornues ont donné les résultats suivants : pendant 7 heures et avec six des douze cornues de l'appareil on a produit 9,643 m³ par heure et par cornue, ce qui correspondait à 71,05 m³ de gaz par 100 kg de bois distillé; le 22 mars on a produit 73 m³ par 100 kg de bois; du 31 mai au 2 juin on a distillé 3 550 kg de bois en brûlant 1 300 kg de houille; la puissance calorifique du gaz produit était de 3 050 calories par mètre cube.

A Thaon-les-Vosges, trois essais ont été faits avec un gazogène à 4 cornues dans le foyer duquel on brûlait le charbon de bois provenant de la distillation. Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau ci-dessous, les dépenses ayant été calculées en comptant le bois à 12 fr la tonne dans le premier essai et 15 fr la tonne dans les deux autres, la houille à 22 fr la tonne et la main-d'œuvre à 0,30 fr l'heure.

	I		II		III	
Volume de gaz produit	1 257 m³		1 120 m³		613 m³	
Bois distillé	1 500 kg	18,00 fr	1 436 kg	21,64 fr	776 kg	11,64 fr
Houille brûlée	1 000 kg	22,00 fr	688 kg	15,13 fr	540 kg	11,66 fr
Main d'œuvre	59 h	17,70 fr	49 h	14,70 fr	22 h	6,60 fr
Dépense totale		57,70 fr		51,37 fr		29,90 fr
Prix de revient du mètre cube		0,045 fr		0,0458 fr		0,048 fr

Si l'on compare la dépense résultant de la production d'une même quantité de chaleur par la combustion du gaz Riché obtenu dans ces conditions et par la combustion de gaz de ville à 0,09 fr le mètre cube, on trouve que l'emploi du gaz Riché pour le chauffage procure, d'après les chiffres ci-dessus, une économie de 11 à 16 p. 100 sur l'emploi du gaz de ville.

La coupe verticale indique la forme maintenant adoptée pour les cornues de petites dimensions. On voit qu'elles sont formées d'un corps en fonte cylindrique A, enfermé dans une gaine B en maçonnerie; la partie supérieure, munie d'une porte de chargement avec fermeture à vis et joint d'amiante est maintenue par une dalle en terre réfractaire R fermant la gaine; la partie inférieure est reliée par un joint d'amiante silicaté à un pied de cornue horizontal D muni d'une porte E par laquelle on défourne à la pelle le charbon produit dans la distillation et d'un tube F qui conduit le gaz au laveur GH.

Le gazogène exposé est alimenté avec des déchets de bois. Son chauffage peut être effectué au bois ou à la houille; dans le premier cas les gaz de la combustion se rendent directement du foyer J dans les gaines B des cornues par les carneaux K; dans le second, ils se rendent d'abord dans une chambre de combustion. Des gaines, les gaz sont conduits à la cheminée P par les carneaux de fumée L munis de registres M. Des trous S percés dans la dalle R et fermés ordinairement par des tampons permettent de surveiller la température des cornues; un regard T constitué par un tube de fer que ferme, à son extrémité extérieure, un manchon de cuivre muni d'une rondelle de mica, sert au même usage.

Fig. 1. — Vue de l'installation de Vincennes.

Le dispositif servant à maintenir sensiblement constante la pression du gaz en deça de la prise qui amène le gaz au moteur est représenté par la partie gauche des figures 4 et 5. Il se compose d'une cloche C_1 retournée sur une cuve en tôle remplie d'eau et dont l'ascension est guidée par un tube métallique placé suivant l'axe de la cloche et glissant le long d'un tube de moindre diamètre faisant corps avec la cuve. Au tube de guidage de la cloche sont fixés deux plongeurs troncôniques A et B. Le gaz est amené dans la cloche par la tuyauterie *t*, et il est conduit au moteur par la tuyauterie T. La section de la première est calculée de manière à ce que son débit pendant un certain temps soit égal à la consommation maximum du moteur pendant le même temps; la section de la tuyauterie T est plus grande, l'aspiration du gaz par le moteur se faisant d'une façon intermittente : ainsi elle est quatre fois plus grande que celle de la tuyauterie *t* si, comme c'est le cas ordinaire, le moteur est à quatre temps.

Le réglage et le fonctionnement de cet appareil sont des plus simples. Avant de mettre

le moteur en marche on ouvre la conduite d'amenée du gaz et on met sur la cloche une tare, variable suivant la pression du gaz au moment du réglage, de manière que la position d'équilibre de l'ensemble corresponde à une ligne d'affleurement comprise entre les sommets *a* et *b* des plongeurs A et B. Quand le moteur est en marche l'aspiration du gaz fait baisser la cloche et le plongeur A se trouve en partie immergé ; il en résulte une diminution du poids apparent de la cloche et par conséquent une diminution de la pression exercée par celle-ci sur le gaz ; le gaz de la conduite de distribution passe alors par *t* dans la cloche et celle-ci se remplit pendant la durée des trois périodes du cycle qui suivent la période d'aspiration. Si la cloche monte alors plus haut qu'il ne convient une partie du plongeur B émerge et le poids apparent de la cloche augmente ; il en résulte une augmentation de la pression dans la cloche, et l'arrivée du gaz par la tuyauterie *t* se trouve empêchée. Des variations de pression ne se produisent donc dans la cloche qu'au moment où elle commence à être vidée par l'aspiration du moteur et au moment où elle achève de se remplir. En donnant à la cloche un volume suffisant et aux plongeurs une forme convenable, ces variations de pression ou « pulsations » se font à peine sentir dans la canalisation principale sur laquelle est branchée la tuyauterie *t* : de là le nom de « cloche antipulsatrice » donné à l'appareil. L'expérience a montré que ce dispositif remplace avantageusement les poches en caoutchouc que l'on place ordinairement dans le même but sur le trajet de la conduite d'alimentation des moteurs à gaz et que les brûleurs, pour chauffage ou éclairage, branchés sur la canalisation principale ne se ressentent nullement du fonctionnement des moteurs même quand ceux-ci absorbent la majeure partie du gaz amené par la canalisation principale comme c'est le cas dans l'installation de l'Exposition [1].

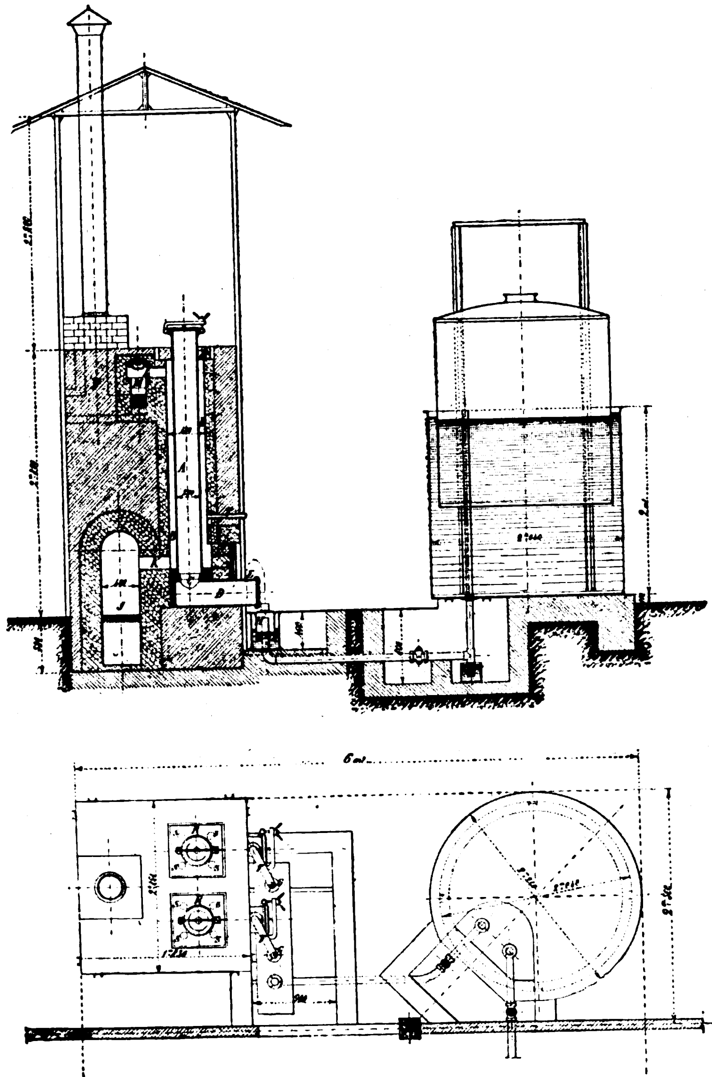


Fig. 2 et 3. — Élévation et coupe de l'installation de Vincennes.

[1] La même cloche antipulsatrice, appliquée à la Compagnie centrale des Emeris, à Paris, permet d'alimenter par une même canalisation quatre moteurs Otto et divers brûleurs, qu'il eut été impossible d'utiliser par suite des variations de pression occasionnées dans la conduite par les aspirations des moteurs quand ceux-ci n'étaient munis que de leurs poches en caoutchouc, pourtant de grand volume.

Le dispositif destiné à supprimer le bruit produit par l'échappement des gaz du moteur est représenté sur les figures 4 et 5, à droite du moteur M. Il se compose des mêmes organes que le précédent : une cloche C_2 renversée sur une cuve et dans laquelle pénètrent la tuyauterie T_1 aboutissant à la soupape d'échappement du moteur et la tuyauterie t_1 conduisant les gaz à l'extérieur. La seule différence consiste dans le mode de régulation de la pression dans la cloche, un ressort R étant employé dans ce but de préférence aux plongeurs, les variations de pression étant plus brusques que dans la cloche antipulsatrice. L'installation de l'Exposition montre d'une façon très nette la supériorité de ce dispositif sur le « pot d'échappement » ordinairement employé dans le même but : les deux moteurs Otto et Tangye alimentés par le gazogène, sont reliés à la cloche d'échappement; le moteur Le Gnome n'a pu y être relié à cause de la forme de sa soupape lui permettant d'aspirer à nouveau les gaz brûlés après leur échappement et on a dû le munir d'un pot d'échappement ordinaire en fonte; le bruit auquel donne lieu l'échappement de ce dernier moteur indique, par contraste, l'intérêt que présente l'emploi de la cloche antipulsatrice.

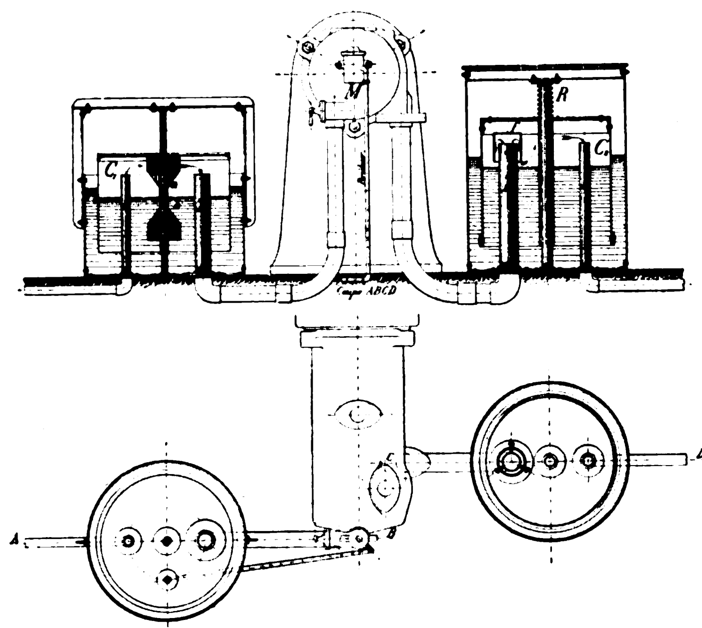


Fig. 4 et 5. — Cloche antipulsatrice et cloche d'échappement.

J. Reyval.

SYSTÈME DE TRACTION A CONTACTS SUPERFICIELS H. DOLTER [1]

Ce système appartient au groupe des systèmes de traction à contacts superficiels dans lesquels la mise en communication des pavés de contact avec le câble d'alimentation s'effectue au moyen d'électro-aimants placés sous la voiture.

Ces électro-aimants sont disposés comme l'indique la figure 1, qui montre une coupe de la voie par un plan vertical passant par l'axe d'un pavé de contact. On voit que leurs noyaux sont fixés inférieurement à deux barres de fer longitudinales frottant sur le pavé de contact et par leurs extrémités supérieures à des entretoises en fer formant culasse. L'une des extrémités du fil isolé des bobines de ces électro-aimants est boulonnée sur l'une des barres; l'autre extrémité aboutit au combinateur. De la sorte le courant, en marche normale, passe du pavé de contact aux barres du frotteur et traverse les bobines avant de se rendre aux moteurs et de retourner à l'usine par le châssis de la voiture et les rails. Le frotteur forme donc un long électro-aimant, excité par le courant qui fait mouvoir la voiture, une des barres constituant le pôle sud et l'autre le pôle nord.

[1] Exposé dans le palais La Bourdonnais, classe 23.

Chaque pavé de contact, dont une coupe agrandie est donnée en figure 2, comprend : une boîte cylindrique en fonte au manganèse non magnétique ; un couvercle portant le plot de contact ; un tube en ambroïne vissé au couvercle et contenant le dispositif qui doit mettre, au moment voulu, le plot en communication avec la ligne ; enfin une prise de courant vissée à la partie inférieure du tube précédent.

La boîte cylindrique est fixée sur deux traverses en chêne tirefonnées avec les rails;

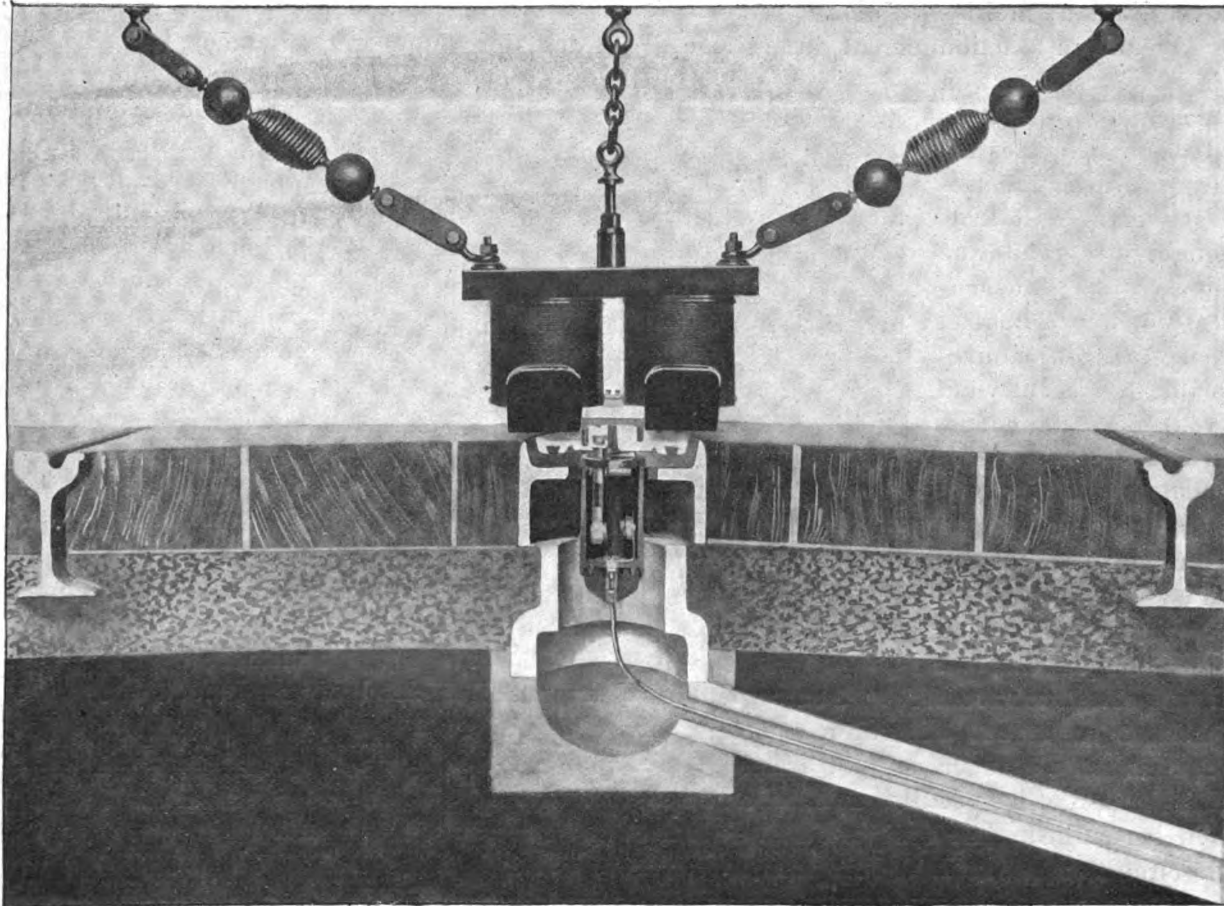


Fig. 1. — Coupe de la voie et du frotteur.

de cette façon le pavé reste toujours dans la même position par rapport aux rails, quelles que soient les déformations de la voie.

Le plot de contact est formé de deux demi-disques en acier coulé noyé dans de l'ambroïne qui assure leur isolement électrique et leur séparation magnétique ; l'ensemble forme couvercle et est fixé à la boîte en fonte par quatre vis [1].

[1] Dans un nouveau modèle de pavé, l'ambroïne est remplacé par du ferro-silicium non magnétique qui suffit pour empêcher les lignes de force magnétique de passer d'une des moitiés à l'autre du plot de contact ; l'isolement électrique est assuré par du bois paraffiné.

La forme de ce modèle est également différente de celle représentée par les figures ci-jointes ; elle est parallélipipédique. La section horizontale de la boîte de fonte a les dimensions d'un pavé de bois, ce qui permet de loger facilement cette boîte dans les chaussées pavées en bois.

****

Le dispositif de fermeture du circuit, représenté par la figure 3, se compose d'un levier coudé dont le bras vertical, le plus long, porte une pastille de charbon; et d'un support élastique portant une seconde pastille et relié au conducteur d'alimentation. Le petit bras du levier est formé d'un cylindre de fer doux reposant par deux tourillons sur deux pièces de fer fixées à l'une des moitiés du plot de contact. Le grand bras est constitué par un tube d'ambroïne à l'intérieur duquel est un fil d'aluminium reliant la pastille de charbon au cylindre de fer doux; deux conducteurs souples mettent ce cylindre en communication avec les deux moitiés du plot.

Quant au fonctionnement du système, il est des plus simples et se conçoit immédiatement. Considérons en effet une voiture en marche. Comme nous l'avons dit, le courant d'alimentation des moteurs traverse alors le circuit des électro-aimants et le frotteur est aimanté. Ce frotteur ayant une longueur plus grande que la distance qui sépare deux plots consécutifs, sa partie arrière est encore en contact avec un plot lorsque, par suite du mouvement de la voiture, son extrémité avant vient rencontrer le plot suivant; il est par conséquent encore aimanté à ce moment et il aimante les deux demi-disques d'acier de ce plot. Les lignes de force du champ magnétique, qui ne peuvent, avons-nous dit, passer directement d'un demi-disque à l'autre, se ferment par le cylindre d'acier du dispositif de fermeture du circuit; par suite ce cylindre est attiré et son mouvemeet met en contact les deux pastilles de charbon. A ce moment le courant est amené à la voiture par les deux plots qui sont sous le frotteur. La voiture continuant d'avancer, le plot arrière cesse bientôt d'être en contact avec celui-ci; il se désaimante et les pastilles de charbon se séparent, tant par suite de l'action de la pesanteur sur la pastille mobile que par l'effet de la tension du ressort qui supporte l'autre pastille [1]; le circuit se trouve donc rompu et le plot cesse d'être en communication avec la ligne.

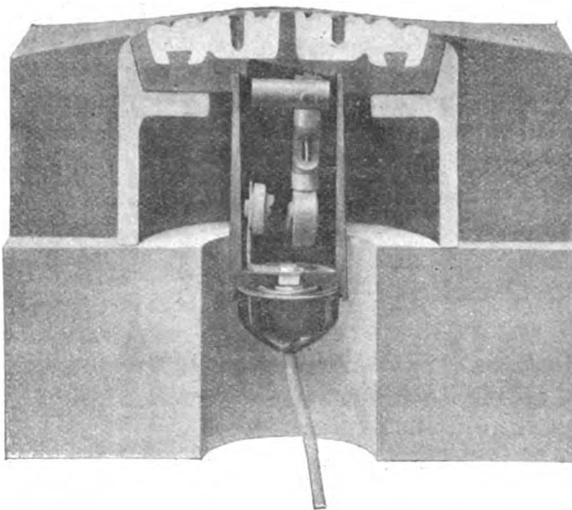


Fig. 2. — Coupe du pavé de contact.

Cette explication suppose, il est vrai, une condition qui peut ne pas être remplie, à savoir : que le frotteur est toujours en contact avec un plot actif, c'est-à-dire en communication avec la ligne. Or il n'en serait pas ainsi si deux plots consécutifs fonctionnaient mal, ce qui peut se produire sans gêner en rien le mouvement de la voiture, laquelle franchirait facilement ces plots par la vitesse acquise. Mais il est facile de remédier à cet inconvénient en mettant sur la voiture une petite batterie de quelques accumulateurs disposée en dérivation entre les extrémités du circuit des électro-aimants. Pendant la marche normale de la voiture ces accumulateurs sont traversés par une faible portion du courant d'alimentation et se chargent; quand le circuit principal se trouve rompu, ils se déchargent dans le circuit des électro-aimants et excitent ceux-ci [2].

---

[1] L'aimantation rémanente du plot ne peut avoir aucun effet nuisible, le cylindre du levier ne venant pas en contact avec ce plot, mais en restant séparé par une matière non magnétique, ambroïne ou ferro-silicium.

[2] Un interrupteur est disposé sur le circuit de ces accumulateurs afin de pouvoir supprimer l'aimantation du

Ajoutons qu'il est extrêmement facile d'empêcher qu'après le passage de la voiture un plot reste, par suite d'un mauvais fonctionnement de l'interrupteur, en communication avec le conducteur d'alimentation et se trouve ainsi rendu dangereux pour les personnes ou les animaux marchant sur ce plot. Il suffit en effet pour cela que la voiture mette automatiquement en communication avec les rails le plot que le frotteur vient de quitter; si l'interrupteur a bien fonctionné, il ne se produit rien; si au contraire le plot est resté actif, un court-circuit a lieu et le courant de court circuit provoque la fusion du fil d'aluminium placé dans le bras vertical du levier de l'interrupteur. Dans ce but, l'arrière de la voiture est muni d'un frotteur, dit frotteur de sûreté, relié directement au châssis et dont la longueur est suffisante pour que le courant de court circuit fasse sûrement fondre le fil d'aluminium [1] pendant la durée du contact avec le plot [2].

M. Dolter revendique en faveur de son système plusieurs avantages sur les systèmes à contacts superficiels actuellement en usage, en particulier sur le système Diatto, utilisé sur une

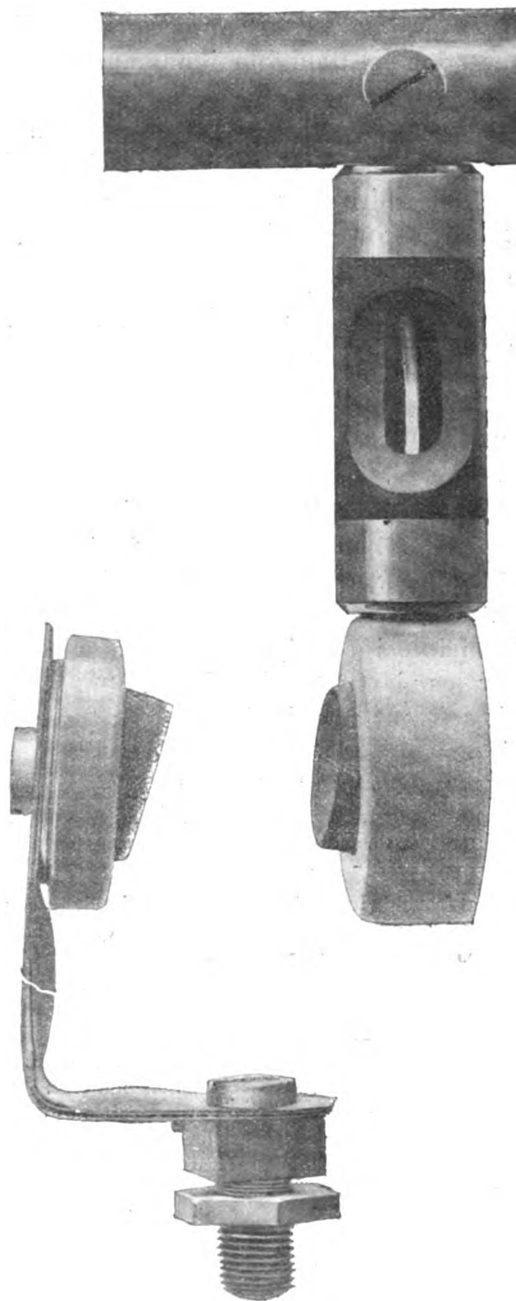


Fig. 3. — Contact.

frotteur, et par conséquent isoler de la ligne le plot sur lequel repose le frotteur ainsi que le frotteur lui-même. Cette manœuvre est nécessaire lorsque, pour une raison quelconque, on a besoin de toucher, en cours de route, au frotteur ou aux pièces inférieures du châssis de la voiture.

M. Dolter dispose cet interrupteur sur le combinateur qui commande les moteurs de manière à ce que le circuit des accumulateurs se trouve rompu en même temps que le circuit principal. Le frotteur se trouve alors isolé de la ligne toutes les fois que l'on met le combinateur à l'arrêt.

Comme cette manœuvre a nécessairement pour effet de couper le circuit des lampes assurant l'éclairage de la voiture et qui sont groupées par 5 en série sur une dérivation du courant principal, M. Dolter dispose un second circuit d'éclairage avec lampes à faible voltage montées en dérivation sur la batterie d'accumulateurs.

(1) D'après les essais faits par M. Dolter l'aluminium est préférable au plomb ou aux alliages de plomb ordinairement employés pour la confection des fils fusibles.

(2) M. Dolter relie le frotteur de sûreté au châssis par des barres ayant une résistance électrique calculée de manière à ce que le courant de court-circuit n'ait pas une intensité suffisante pour faire fonctionner le disjoncteur à maximum de l'usine génératrice. Ainsi dans le cas ordinaire d'une installation à 500 volts la résistance de ces barres est d'environ 3 ohms; l'intensité du courant de court-circuit est alors de 170 ampères environ, valeur en général insuffisante pour faire fonctionner le disjoncteur d'une canalisation de quelque importance.

Cette disposition est, suivant l'inventeur, avantageuse au point de vue de l'exploitation. Le fonctionnement du disjoncteur provoque en effet un arrêt du service sur toute la partie du réseau qu'il commande. Au contraire la mise hors d'usage d'un pavé de contact par fusion du fil d'aluminium ne provoque en général aucun arrêt, les voitures

des lignes du réseau de Tours (¹) et sur un grand nombre des nouvelles lignes de pénétration dans Paris.

En premier lieu il estime que son dispositif de fermeture et d'ouverture du circuit d'alimentation est d'un fonctionnement plus sûr que celui du système Diatto. Celui-ci exige en effet, que le niveau du mercure dans lequel flotte le clou de contact soit parfaitement réglé ; s'il est trop élevé, le clou risque de ne pas redescendre suffisamment pour rompre l'arc, lorsque le frotteur a cessé de l'attirer ; s'il est trop bas, l'attraction peut n'être pas suffisante pour produire le contact. Dans le système Dolter, au contraire, un mauvais équilibrage du levier contact n'a que fort peu d'influence sur le fonctionnement. D'un autre côté, le flux magnétique produit par les électro-aimants est mieux utilisé dans ce dernier système que dans le premier, comme il est facile de s'en rendre compte en comparant la figure 3 de cet article avec la figure de l'article précité représentant le pavé Diatto (²).

Un second avantage serait une plus grande robustesse de l'ensemble des organes des pavés, les pavés Dolter n'ayant pas besoin d'être noyés dans une masse d'asphalte comme ceux de Diatto et pouvant être solidement fixés comme il a été dit avec les traverses supportant la voie.

En troisième lieu, la forme du frotteur Dolter serait préférable à celle du frotteur Diatto. Le premier n'est en effet composé que de deux barres dont l'ensemble a une largeur plus petite que le diamètre d'un plot de contact, tandis que le second est composé de trois barres dont les extrêmes débordent les plots. Par suite de cette plus grande largeur, il suffit d'une plus faible inclinaison de l'ensemble, par rapport à la verticale, pour que l'une des barres latérales vienne toucher le sol et provoquer ainsi un court-circuit, inconvénient qui se produit souvent aux aiguilles et aux traversées de voies et que l'on n'a pu éviter qu'en isolant soigneusement les tronçons de rails que le frotteur est susceptible de toucher.

M. Dolter fait également remarquer que son système permet l'emploi d'un dispositif de sûreté mettant automatiquement hors de service un pavé défectueux, tandis que le système

---

pouvant franchir le pavé défectueux par la vitesse acquise. Il est donc préférable de ne pas faire fonctionner le disjoncteur et de ne pas s'inquiéter des pavés mis hors d'usage, du moins pendant la durée du service.

Il est cependant un cas où la présence d'un pavé hors d'usage présente un inconvénient : c'est celui où une voiture s'arrêterait de façon que le frotteur ne se trouve en contact qu'avec ce pavé. Dans ce cas, nécessairement fort rare, la voiture ne pourrait démarrer dans la position qu'elle occupe et l'on serait obligé de la faire avancer, soit en la poussant à bras d'hommes ou par la voiture qui la suit, soit en y amenant le courant au moyen d'un bout de câble que l'on met en contact avec le plot suivant rendu actif à l'aide d'un électro-aimant portatif, jusqu'à ce que le frotteur vienne en contact avec un plot en bon état.

Si l'incident se produisait en un endroit où les arrêts sont fréquents, il conviendrait, pour éviter son renouvellement, de remplacer le plot défectueux immédiatement. Ce remplacement serait effectué par le conducteur de la voiture, un plot de rechange devant toujours se trouver dans chaque voiture ; il ne demanderait d'ailleurs que quelques minutes.

Quant aux plots défectueux qui, ne gênant pas le service, seraient laissés en place, on les remplacerait pendant la nuit. Pour reconnaître leurs positions exacte il suffirait de munir la voiture effectuant le dernier parcours, d'un ampèremètre enregistreur. Chaque plot défectueux se trouverait indiqué par une rupture du courant et pourrait être repéré. L'observation des lampes servant à l'éclairage de la voiture pourrait d'ailleurs éviter l'emploi de l'ampèremètre, ces lampes s'éteignant au moment du passage sur un plot défectueux.

(¹) Voir *L'Éclairage Électrique*, t. XIX, p. 121, 29 avril 1899.

(²) Rappelons que dans ce dernier système les électro-aimants ont leurs noyaux disposés horizontalement entre deux barres de fer situées de part et d'autre du frotteur proprement dit et que chaque pavé est muni d'une pièce de fer recourbé dirigeant vers le clou de contact les lignes de force magnétique émanant de ces deux barres. Comme cette pièce de fer est nécessairement séparée des barres du frotteur par un entrefer assez considérable, l'utilisation du flux magnétique des bobines est évidemment moins bonne que dans le système Dolter où les deux barres du frotteur viennent en contact avec les pièces d'acier destinées à diriger les lignes de force magnétique vers le cylindre du lev'er de contact.

Diatto, tel qu'il est installé à Tours, ne le permet pas. On se souvient, en effet, que le dispositif de sûreté employé à Tours a seulement pour effet de signaler au conducteur d'une voiture qu'un plot est resté en communication avec la ligne d'alimentation, bien que le plot reste dans cet état tant que le conducteur ne l'a pas enlevé.

Ces avantages et quelques autres d'ordre secondaire ne pouvaient guère être mis en évidence que par l'application du système. La société propriétaire des brevets Dolter a fait

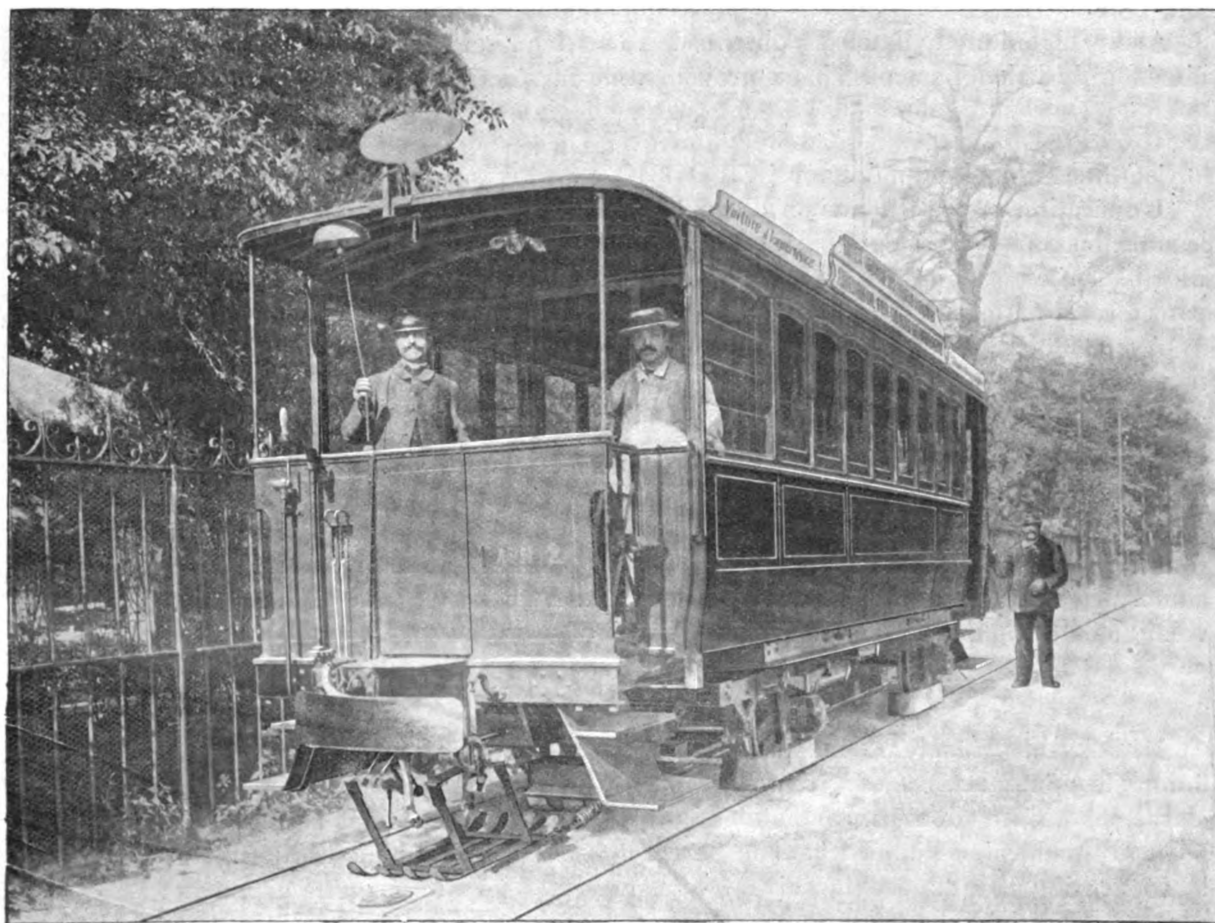


Fig. 4. — Vue de la voiture de la ligne d'essais de la porte Maillot.

équiper avec ce système une voie d'environ 750 m de longueur située près de la porte Maillot et faisant partie de la ligne allant de cette porte à Suresne. Depuis le 30 mai dernier, une voiture (fig. 4) circule constamment sur cette voie; elle a effectué actuellement un parcours de plus de 1 900 km sans qu'on ait eu à enregistrer aucun incident dû à une défectuosité du système.

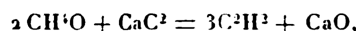
J. Reyval.

CONGRÈS INTERNATIONAL DE CHIMIE APPLIQUÉE[1]

Action du carbure de calcium sur quelques corps organiques

Sous ce titre, M. Gin fait connaître les résultats de quelques expériences dans lesquelles il faisait réagir du carbure de calcium sur l'alcool méthylique, l'aldéhyde éthylique ou l'acétone.

Avec l'alcool méthylique il a obtenu de l'acétylène et un résidu solide formé par la combinaison de l'alcool avec la chaux provenant de la réaction. On a

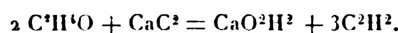


$$2\,CH^4O + CaC^2 = 3C^2H^2 + CaO,$$

et CaO fixe l'alcool pour donner $4\,CH^4O, CaO$ [2].

L'opération se faisait dans un disgesteur de Payen surmonté d'un réfrigérant destiné à séparer les vapeurs d'alcool entraînées. Le gaz provenant de la réaction était recueilli dans un absorptiomètre de Raoult contenant du chlorure cuivreux ammoniacal. L'absorption par ce réactif atteignit constamment 95 à 98 p. 100 du volume total.

Avec l'aldéhyde éthylique, l'opération s'effectuant également dans le digesteur de Payen, on a



$$2\,C^2H^4O + CaC^2 = CaO^2H^2 + 3C^2H^2.$$

Avec l'acétone, placé dans un vase ouvert dans lequel on verse du carbure pulvérisé, on ne constate aucun dégagement gazeux. Le précipité formé est verdâtre ; calciné il donne environ 67 p. 100 de chaux. Le liquide filtré et distillé dans un appareil à distillation fractionné donne un gaz soluble dans le chlorure cuivreux ammoniacal mais n'y produisant aucun précipité, un liquide incolore distillant au-dessous de 100° et un liquide jaune non volatil à cette température. M. Gin poursuit l'étude de ces corps.

Appareils d'éclairage a l'acétylène

M. Besnard, président de la classe 75 (Appareils et procédés d'éclairage non électriques) donne la nomenclature des divers appareils d'éclairage à l'acétylène exposés soit à la classe 75, aux Invalides, soit à l'annexe de Vincennes. Nous avons reproduit dans le *Supplément* du dernier numéro la liste de ces appareils ; nous nous bornerons à donner ici, la répartition des exposants suivant la nature des appareils qu'ils exposent :

Appareils portatifs et lampes à main	21	exposants
Appareils à chute d'eau sur le carbure de calcium	9	—
Appareils à contact, où l'eau attaque le carbure en dessous ou par compartiments séparés	35	—
Appareils à chute de carbure dans l'eau, se subdivisant en deux groupes.		
1° à carbure granulé	16	—
2° à carbure tout venant	22	—
Appareils à gaz acétylène dissous dans un liquide ou mélangé à l'air	2	—
Bruleurs divers	6	—
	111	exposants

(1) Voir *L'Éclairage Électrique* du 4 août, p. 169-183.

(2) En 1895, M. de Forcrand espérant obtenir l'éthylate de calcium, fit agir du carbure de calcium sur l'alcool éthylique en tubes scellés. Il obtint un gaz ayant la composition C^4H^6 ou $n\,C^4H^6$ et un résidu de composition

Quelques-uns de ces appareils ont été décrits en séances par leurs inventeurs ou constructeurs. Ce sont ceux de M. Fourchotte, de M. Deroy, de la Compagnie de l'acétylène dissous, de M. Javal, de M. de Montais et de M. Macé. Nous reviendrons plus tard sur ces appareils.

Préparation et propriétés du noir d'acétylène

Dans cette communication, M. E. Hubou expose le procédé qu'il a imaginé pour préparer un noir de fumée bien pur par décomposition de l'acétylène.

La note publiée récemment dans ce journal sur ce procédé [1] en a fait connaître le principe à nos lecteurs. Rappelons que contrairement à ce qu'ont proposé quelques inventeurs, M. Hubou ne produit pas le noir d'acétylène par combustion incomplète de l'acétylène car on n'obtient ainsi qu'un noir souillé par divers produits de la combustion; il le produit par décomposition de l'acétylène comprimé dans un cylindre métallique très résistant, ce qui donne un noir très pur et de l'hydrogène.

L'appareil d'essai, que l'on peut voir exposé dans l'annexe de la classe d'électrochimie, au Champ-de-Mars, en bordure de l'avenue La Bourdonnais, se compose d'un tube en acier très résistant, fermé à ses extrémités par des obturateurs à vis et à pointes métalliques. L'un des obturateurs est muni d'un robinet à pointeau, servant à l'introduction de l'acétylène sous pression et à la sortie de l'hydrogène après la réaction; il est en outre muni d'un bouchon de mise de feu dont la partie essentielle est un fil métallique que l'on porte au rouge au moyen d'un courant électrique. L'autre obturateur porte un crusher destiné à mesurer la pression au moment de la décomposition. On commence par chasser l'air du récipient en y faisant passer une partie de l'hydrogène provenant d'une précédente opération et on fait ensuite arriver de l'acétylène comprimé à 5 atmosphères; on ferme le récipient et on provoque la décomposition par le passage du courant; on laisse alors échapper l'hydrogène produit et on le recueille dans un gazomètre après l'avoir fait passer dans des flacons laveurs. Enfin, on dévisse les bouchons obturateurs pour retirer le carbone pulvérulent en masse qui remplit la capacité du tube.

Ces essais ont montré que conformément aux résultats des expériences de MM. Berthelot et Vieille, la pression maximum au moment de la décomposition est d'environ 75 atmosphères, pression que des appareils bien construits peuvent supporter sans aucun danger; ils ont en outre montré que le noir obtenu est supérieur comme pureté et comme qualité aux noirs de fumée commerciaux même les plus renommés.

D'autre part le prix de revient du noir d'acétylène permet de faire concurrence à ces derniers. Il résulte en effet des calculs de M. Hubou que dans une usine produisant annuellement 100 kg de noir d'acétylène, le prix de revient serait d'environ 1 fr 10 par kg se décomposant ainsi :

Carbure de calcium à 250 fr la tonne	0,8500 fr
Amortissement et entretien de l'installation	0,0625 »
Main-d'œuvre et frais généraux	0,0980 »
Emballage	0,0750 »
Total	1,0855 fr

En supposant un prix de vente moyen de 2 fr le kilogramme (ce qui n'a rien d'exagéré le

---

CaO, C^2H^6O ou CaO, $n\,C^2H^6O$. Les phénomènes obtenus par M. Gin avec l'alcool méthylique sont donc analogues à ceux observés par M. Forcrand avec l'alcool éthylique.

[1] *L'Éclairage Électrique*, t. XXIII, p. CXXXIV, 16 juin 1900; voir aussi t. XX, p. 360, 2 septembre 1899.

noir de lampe calciné se vendant 2.90 fr et le noir de lampe de Francfort de 4 à 6 fr le bénéfice serait donc de 0.90 fr par kilogramme. Ce chiffre correspondant a un bénéfice de 265 francs par tonne de carbure employé, il serait donc plus avantageux de transformer sur place le carbure de calcium en noir d'acétylène que de le vendre directement au consommateur pour produire l'éclairage puisque dans ce dernier cas le bénéfice du fabricant n'est environ que de 100 fr par tonne.

M. Hubou fait aussi remarquer : que dans beaucoup de cas on trouverait ainsi l'utilisation de résidus et de déchets de carbure de calcium sans valeur ; que l'on pourrait avantageusement dans des cas particuliers utiliser des carbures alcalino-terreux autres que le carbure de calcium, le carbure de baryum par exemple qui donnerait un sous-produit d'une valeur importante, la baryte ; enfin que la fabrication du noir d'acétylène donne comme sous-produit de l'hydrogène qui sans aucun doute trouvera des emplois lorsqu'il sera préparé en grande quantité et a bon marché. Aussi estime-t-il que la fabrication du noir d'acétylène et de ses dérivés est appelée à prendre, dans un avenir prochain, un grand développement industriel.

Action de divers métaux sur l'acétylène

M. P. Sabatier fait connaître les résultats des recherches qu'il poursuit sur ce sujet en collaboration avec M. Senderens et qui, bien qu'encore du domaine du laboratoire, peuvent donner de nouveaux débouchés industriels à l'acétylène.

Avec le cuivre les auteurs ont obtenu un carbure d'hydrogène nouveau de composition C^7H^6 auquel ils ont donné le nom de cuprène [1].

Avec le nickel, le cobalt et le fer divisés on obtient divers carbures résultant de l'hydrogénation de l'acétylène [2] par l'hydrogène provenant de la décomposition que l'acétylène subit au contact de ces métaux comme l'ont montré MM. Moissan et Moreu [3].

En particulier avec le nickel réduit on peut avoir deux genres de réaction : réaction sans incandescence ou avec incandescence. Dans le premier cas, qui demande pour être réalisé quelques précautions expérimentales, on obtient de l'éthane, une forte proportion d'éthylène, des carbures éthyléniques supérieurs, de la benzine et homologues. Dans le second cas, qui se produit quand on fait arriver sans précautions l'éthylène sur le nickel réduit, on obtient un mélange gazeux très riche en hydrogène et en éthane, renfermant également de la benzine, mais fort peu d'éthylène.

Les principes de l'analyse électrolytique

Suivant M. Hollard, qui présente cette communication, on a trop insisté en analyse électrolytique, sur la séparation des métaux basée sur les différences de tensions de polarisation de leurs sels, c'est à dire utilisant le principe suivant : *Tout sel métallique, de même que tout acide et toute base, se séparent électrolytiquement sous l'influence d'une tension électrique minimum dite tension de polarisation.*

Ce principe n'est pas rigoureusement vrai en analyse, parce que, comme l'a montré Nernst, cette tension de polarisation dépend de la concentration du métal et que cette concentration diminue à chaque instant au fur et à mesure que le métal se dépose.

---

(1) Voir *L'Éclairage Électrique*, t. XXII, p. 239, 10 février 1900.

(2) Voir *L'Éclairage Électrique*, t. XIX, p. 315, 27 mai 1899.

(3) *Comptes rendus*, t. CXXII, p. 1241, 1896.

La tension de polarisation e se compose, si l'on néglige la tension ri nécessaire à vaincre la résistance r du bain, de deux valeurs tout à fait indépendantes l'une de l'autre : 1° de la tension $\mathcal{E}a$ nécessaire pour séparer les anions à l'anode ; 2° de la tension $\mathcal{E}c$ nécessaire pour séparer les cations à la cathode.

Chaque sorte d'anion ou de cation a, pour une même concentration, une valeur déterminée ($\mathcal{E}_a$ ou $\mathcal{E}_c$).

Le tableau ci-contre donne quelques valeurs trouvées par Nernst pour les tensions relatives à quelques anions et cations en concentration normale, c'est-à-dire à $\frac{M}{n}$ grammes par litre, M étant le poids moléculaire et n la valence de l'ion.

La tension de polarisation minimum nécessaire pour effectuer une électrolyse quelconque s'obtiendr en faaisant la somme

$$e = \mathcal{E}_c + \mathcal{E}_a$$

C'est ainsi que le sulfate de cuivre, en concentration normale, exige pour sa séparation électrolytique la tension

$$e = 1,9 - 0,34 = 1,54 \text{ volt.}$$

A LA CATHODE (E_c)		A L'ANODE (E_a)	
$\overset{+}{Ag}$	— 0,78	$\bar{I}$	0,52
$\overset{++}{Cu}$	— 0,34	$\overline{Br}$	0,94
$\overset{+}{H}$	0,0	$\bar{O}$	1,08
$\overset{++}{Pb}$	+ 0,17	$\overline{Cl}$	1,31
$\overset{++}{Cd}$	+ 0,38	$\overline{OH}$	1,68
		$\overline{\overline{SO}}$	1,9
$\overset{++}{Zn}$	+ 0,74	$\overline{HSO^4}$	2,6

Les valeurs $\mathcal{E}_c$ et $\mathcal{E}_a$ dépendent de la concentration des cations et des anions. En analyse électrolytique, où il y a toujours un grand excès d'anions par rapport aux cations à précipiter, la concentration des anions ne varie pas suffisamment au cours de l'électrolyse pour faire varier sensiblement la valeur $\mathcal{E}_a$. Au contraire la concentration des cations qui se précipitent sur la cathode diminue constamment au cours de l'électrolyse jusqu'à ce qu'elle devienne pratiquement nulle ; il en résulte des variations sensibles pour $\mathcal{E}_c$ et par suite pour e les variations sont données par la formule de Nernst :

$$\mathcal{E}_c = \frac{k}{n} \log \frac{P}{c} \text{ volts.}$$

où k est une constante pour une même température, n est la valeur du métal précipité, c est la concentration des ions du métal et P est la *tension de dissolution* de ce métal. L'idée de tension de dissolution a été suggérée dans la théorie des ions par l'analogie qu'on a établie entre le phénomène de l'ionisation et celui de la vaporisation : de même qu'un liquide (ou d'ailleurs tout autre corps) possède une certaine tendance à passer à l'état de vapeur et que la mesure de cette tendance est exprimée par sa tension de vapeur; de même une substance susceptible d'envoyer des ions en solution tend à passer à l'état d'ions et la mesure de cette tendance est exprimée par sa tension de dissolution.

D'après la formule précédente, on voit que si la concentration c des ions du métal qui se dépose sur la cathode diminue en progression géométrique, la valeur de $\mathcal{E}_c$ augmente en progression arithmétique.

A la température ordinaire (17°) on trouve que si la concentration est réduite au dixième de sa valeur, $\mathcal{E}_c$ augmente de $\frac{0,0575}{n}$ volt, n étant la valence du métal.

Considérons en particulier, une solution de sulfate de cuivre en concentration normale, c'est-à-dire contenant $\frac{63}{2}$ gr de cuivre par litre ; cette solution peut être considérée comme

pratiquement dissociée. Au fur et à mesure que la concentration des ions Cu^{++} diminuera par suite du dépôt du cuivre sur la cathode, les valeurs de $\mathcal{E}_c$ et de e seront les suivantes :

Concentration (nombre de gr. par litre).	$\mathcal{E}_c$	e
31,5000	— 0,34	1,56
3,1500	— 0,31	1,59
0,3150	— 0,28	1,61
0,0315	— 0,25	1,64
0,0031	— 0,22	1,67
0,0003	— 0,19	1,70

Les concentrations plus petites sont pratiquement nulles en analyse.

Les augmentations de la tension de polarisation auraient été encore plus rapides si l'on avait considéré des sels à métaux monovalents.

Les considérations qui précèdent peuvent donc être formulées ainsi :

La tension minimum à mettre aux bornes d'une cuve électrolytique croît avec la dilution du sel.

MÉTAUX	SOLUTION A 1 MOLÉCULE-GR. PAR LITRE	
	Sulfates	Chlorures
Manganèse	2,715	2,134
Zinc	2,424	1,813
Cadmium	2,062	1,484
Fer	1,993	1,397
Cobalt	1,881	1,295
Nickel	1,798	1,290
Etain		1,225
Plomb		1,215
Bismuth	1,410	0,995
Antimoine		0,934
Arsenic		0,760
Cuivre	1,385	
Mercure	0,920	
Argent	0,926	
Palladium		0,244
Platine		0,170
Or		0,060

Si maintenant on classe les métaux par ordre décroissant de tension de polarisation pour une concentration déterminée, on voit (tableau ci-contre) que la différence des tensions de polarisation de deux métaux consécutifs est bien souvent inférieure aux variations de cette tension au cours de l'électrolyse.

En résumé, une méthode d'analyse basée *exclusivement* sur la séparation successive des métaux par accroissement graduel de la tension électrique aux bornes, ne serait pas exacte. Ce principe permettra cependant de séparer les métaux ayant des tensions *très* différentes. On pourra par exemple séparer le cuivre ou l'argent, d'avec le nickel et le fer, comme on le fait d'ailleurs dans l'analyse du cuivre industriel.

Il faut donc chercher d'autres principes pouvant servir de base à la séparation électrolytique des métaux. M. Hollard se trouve ainsi amené à vous parler des *sels complexes*.

Les solutions employées en électrolyse, que ce soient des solutions acides, basiques ou neutres, peuvent contenir le métal à l'état de *sel simple* (sulfate de cuivre, nitrâte d'argent, etc...), de *sel double* (sulfate de nickel et d'ammonium, etc...) ou de *sel complexe* (zincate de sodium, arséniate de potassium, etc...).

Un *sel simple* envoie son métal vers la catode à l'état d'ions.

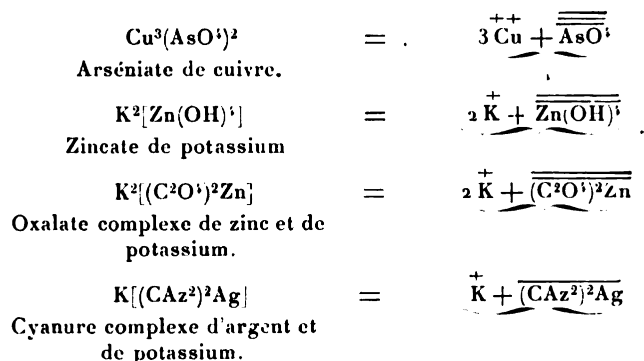
Un *sel double* se comporte à l'électrolyse comme un mélange de deux sels simples, c'est-à-dire que les deux métaux se dirigent vers la cathode à l'état d'ions.

Un *sel complexe* est un sel qui, en solution, se dissocie pour donner, non pas des ions-métal, comme dans les sels simples ou doubles, mais des ions complexes où entre le métal.

Les sels complexes que l'on rencontre le plus souvent en analyse sont les arséniates, les antimoniates, les sulfhydrates doubles de sodium, les oxalates doubles alcalins, les cyanures doubles de potassium. (La dénomination de *double* appliquée aux sulfhydrates aux oxalates et aux cyanures est impropre ; M. Hollard la remplace par celle de *complexe*.)

Dans les solutions des sels complexes, un des métaux est le cation, le reste de la molécule est l'anion complexe contenant l'autre métal. Ce dernier ne pourra se déposer électrolytiquement que si l'anion complexe se dissocie à son tour ou si l'on décompose cet anion par un courant à forte tension.

Voici quelques exemples de sels complexes dissociés en ion complexe contenant l'un des métaux et en cation constituée par l'ion de l'autre métal :



$$Cu^3(AsO^4)^2 = 3\overset{++}{Cu} + \overline{\overline{\overline{AsO^4}}}$$
Arséniate de cuivre.

$$K^2[Zn(OH)^4] = 2\overset{+}{K} + \overline{\overline{Zn(OH)^4}}$$
Zincate de potassium

$$K^2[(C^2O^4)^2Zn] = 2\overset{+}{K} + \overline{\overline{(C^2O^4)^2Zn}}$$
Oxalate complexe de zinc et de potassium.

$$K[(CAz^2)^2Ag] = \overset{+}{K} + \overline{(CAz^2)^2Ag}$$
Cyanure complexe d'argent et de potassium.

Dans un certain nombre de sels complexes, l'ion complexe est déjà en partie dissocié, comme l'a montré Freudenberg ; le métal engagé dans cet ion se dépose alors directement à la catode comme pour un sel simple, avec cette grande différence cependant que la concentration des ions de ce métal étant toujours très faible, la tension aux électrodes doit être plus grande que pour un sel simple. C'est le cas du cyanure de cuivre par exemple.

Il est facile de voir tout de suite l'application qu'on peut faire de ces ions complexes en analyse : on commencera par séparer les différents métaux contenus dans un mélange, par groupes, en utilisant la différence des tensions de polarisation relatives à ces groupes, à condition que cette différence soit très grande. Puis, dans chacun de ces groupes, on tâchera de séparer les métaux en engageant un ou plusieurs d'entre eux dans des ions complexes ; et alors : ou bien le dépôt électrolytique de ces métaux ne pourra se faire, ou si l'ion complexe est partiellement dissocié, le dépôt se fera, mais avec une tension de polarisation qui pourra être assez grande par rapport à celle des autres métaux pour que la séparation en soit rendue possible.

M. Hollard parle ensuite de l'*intensité* et de la *densité* du courant en analyse électrolytique. Il énumère les différents types d'*électrodes* employés et insiste sur la nécessité d'avoir des électrodes aussi concentriques que possible pour avoir des densités de courant aussi homogènes que possible. Il présente un nouveau système d'électrodes qui offre, pour un poids minime de platine, une surface utile considérable et une densité de courant suffisamment homogène.

En terminant, M. Hollard donne, comme application des principes précédents, la description de la méthode d'analyse suivante qu'il emploie pour les cuivres industriels.

Dans une première opération, le cuivre et l'argent sont séparés à l'état pur par électrolyse, d'avec les impuretés. Une oxydation, au moyen de l'eau oxygénée, du bain soumis à l'électrolyse empêche l'arsenic et l'antimoine de se déposer avec le cuivre. Le nickel, le

cobalt, le plomb sont dosés par voie électrolytique, le fer par une méthode volumétrique à l'iode. L'arsenic, l'antimoine et l'étain sont séparés sur un nouvel échantillon par la distillation fractionnée de leurs chlorures. Les chlorures d'antimoine et d'étain distillant à la même température sont séparés dans le distillat par voie électrolytique.

Méthode de dosage électrolytique du plomb

Cette méthode, exposée par M. Marie a été récemment décrite dans ce journal [1]. Rappelons qu'elle consiste à précipiter le plomb à l'état de sulfate ou de chromate, à dissoudre ces sels dans l'acide azotique, en présence de cristaux d'azotate d'ammonium et enfin à électrolyser cette dissolution et peser le plomb déposé sur la cathode.

Nouvelles applications de l'électrolyse a la chimie analytique

Dans cette communication, M. F. Dupont, le dévoué secrétaire général du Congrès, montre que ce n'est pas seulement en chimie minérale mais encore en chimie organique que l'électricité peut rendre des services pour la séparation et le dosage des corps.

Ses recherches ont porté sur la préparation et l'extraction des divers sucres et sur le dosage de la potasse et de la soude dans les végétaux.

L'électrolyseur qui lui a servi dans ces recherches se compose essentiellement d'une cuve en bois ou en verre, divisée en trois compartiments par des cloisons poreuses qui peuvent être en papier parchemin, en fibre végétale, en porcelaine ou en pâte d'amiante, le point essentiel étant qu'elles ne présentent pas de trous permettant le mélange des solutions. Quant aux électrodes, elles sont constituées par des plaques métalliques dont la nature varie suivant le but à obtenir (platine, argent platiné, fer, plomb, aluminium ou zinc). La source d'électricité permet d'obtenir une tension de 14 à 15 volts avec une densité de courant de 25 à 50 ampères par mètre carré d'anode.

I. *Préparation du sucre de betteraves ou de cannes.* — On met le jus sucré dans le compartiment du milieu de l'électrolyseur, et de l'eau dans les deux compartiments latéraux. Dans le jus, plonge, comme anode, une lame de plomb ou d'aluminium; la tôle de fer est employée comme cathode dans les deux compartiments latéraux à eau.

Aussitôt que les électrodes sont reliées aux bornes de la dynamo, l'électrolyse se produit. Sous l'influence du courant électrique, les matières albuminoïdes du jus sont coagulées, insolubilisées et se précipitent. Les sels sont décomposés; les bases solubles (potasse, soude et ammoniaque) se retrouvent dans les compartiments négatifs, tandis que les acides minéraux et organiques se combinent à l'oxyde du métal de l'anode pour former des sels insolubles qui se précipitent. La chaux et la magnésie n'étant pas décomposées se précipitent au sein du jus sous forme de sels insolubles; une petite quantité reste en dissolution.

L'acide nitrique qui existe en assez forte proportion dans les betteraves, surtout dans celles qui proviennent de terres fortement fumées, est décomposé, transformé partiellement en ammoniaque que l'on retrouve dans les eaux négatives. Il y a aussi formation, au détriment de certaines matières albuminoïdes, d'ammoniaques composées que l'on retrouve à la cathode.

Quand le courant a passé un temps suffisant, toutes les matières organiques sont précipitées, toutes les bases solubles éliminées. Le jus est devenu clair, limpide et incolore,

---

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. XXIII, p. 190, 5 mai 1900.

et ne précipite plus par le sous-acétate de plomb. Il ne reste en dissolution dans le jus à côté du sucre, que des traces de matières organiques, de chaux, de magnésie, et suivant l'anode employée, un peu de sel de plomb ou d'alumine.

Si sur 100 gr d'extrait sec, le jus initial de la betterave ou de la canne contenait 85 gr de sucres et 15 gr de matières étrangères, après électrolyse on trouve sur 100 gr d'extrait sec 99,500 gr de sucres et 0,500 gr d'impuretés. C'est dire que le sucre existe alors dans le jus traité pour ainsi dire à l'état de pureté.

Il ne reste plus qu'à concentrer et à faire cristalliser. On obtient directement tout le sucre en beaux cristaux absolument blancs.

Quand on se sert d'anodes en aluminium, on peut laisser dans le jus les sels d'alumine; si on emploie des anodes en plomb, on élimine la petite quantité de plomb resté en dissolution en le précipitant par l'acide sulfureux ou l'acide phosphorique.

Quand l'opération a été bien conduite, que la densité du courant n'est pas descendue au-dessous de 25 ampères, ni montée au-dessus de 50 par mètre carré d'anode, que la membrane poreuse ne présentait pas de trous, on retrouve dans le jus tout le sucre, ou plutôt tous les sucres qui étaient primitivement contenus; il n'en passe pas dans les compartiments négatifs qui ne contiennent que de la potasse, de la soude et de l'ammoniaque. Il n'y a donc pas osmose, contrairement à ce que l'on croit. Les sucres restent intacts au sein du liquide positif.

Outre les avantages que ce procédé peut présenter au point de vue de la fabrication industrielle du sucre, on voit immédiatement combien il est précieux pour rechercher, isoler, identifier et doser les différents sucres dans une foule de végétaux.

Ce procédé est bien plus commode que celui qui consiste à précipiter les matières organiques par l'acétate de plomb, à éliminer l'excès de plomb par l'hydrogène sulfuré, etc., car ce dernier laisse toujours dans la liqueur toutes les matières minérales, et y introduit de l'acide acétique ; aussi est-il difficile de faire cristalliser les sucres ; tandis que ceux-ci cristallisent abondamment, à l'état de pureté parfaite au sein de la liqueur électrolytique, lorsqu'elle a été ensuite convenablement concentrée.

Avec la densité de courant indiquée plus haut, un essai sur du jus à 1,070 de densité, c'est-à-dire contenant environ 15 p. 100 de sucre, dure à peu près 1 heure et demie à 2 heures.

II. *Préparation des autres sucres et des hydrates de carbone.* — M. Dupont a aussi soumis à l'électrolyse les sucs exprimés de la racine de gentiane contenant du gentianose, étudié par Bourquelot, de la racine de cyclamen contenant du cyclamose $C^{12}H^{22}O^{11}$, des raisins, des cerises, etc.; toujours il a obtenu les sucres contenus dans ces jus à l'état voisin de la pureté absolue.

En soumettant le petit lait à l'électrolyse, puis évaporant et faisant cristalliser, on obtient de grands cristaux incolores.

M. Dupont ne doute pas que cette méthode ne donne d'excellents résultats pour l'étude des autres sucres et des différents hydrates de carbone que l'on rencontre dans les végétaux, car les sucres et les hydrates de carbone ne sont pas altérés par l'électrolyse. On peut d'ailleurs opérer l'électrolyse des jus sucrés d'une autre manière :

On rend l'un des compartiments latéraux à eau positif, l'autre négatif; le liquide sucré du compartiment médian subit l'électrolyse par influence, les acides passant à l'anode dans le compartiment positif, les alcalis à la cathode dans le compartiment négatif.

Cette manière d'opérer a l'avantage de n'introduire aucun corps étranger dans le jus, mais elle a l'inconvénient d'exiger une grande force électromotrice, la différence de potentiel

atteignant jusqu'à 50 volts, suivant la distance des électrodes et la température de la solution.

III. *Dosage de la potasse et de la soude.* — Nous avons vu que dans l'électrolyse des solutions sucrées, on obtient à l'anode, dans les compartiments négatifs toute la potasse et la soude primitivement contenues dans le liquide, avec des traces plus ou moins fortes d'ammoniaque.

Si l'on évapore cette eau et qu'on calcine ensuite le résidu, on a un culot blanc formé d'un mélange de potasse et de soude. On le dissout dans l'eau distillée, et on dose la potasse par les procédés connus, par exemple à l'état de chloroplatinate de potasse et réduction par le formiate de soude. Par différence, on a la soude.

Ce procédé permet de doser avec beaucoup de précision la pótasse et la soude contenues dans les sucs végétaux. Si l'on veut se contenter de doser en bloc les alcalis, potasse et soude, la seule pesée du culot suffit ; on peut aussi avoir recours au titrage alcalimétrique.

De nombreuses analyses ont donné pour le jus de betteraves la moyenne suivante :

Potasse pour 100 cm³ de jus à 1 070 de densité	0,301 gr
Soude	0,095 »

Lorsqu'on opère industriellement l'épuration des jus de betteraves ou de cannes, par l'électrolyse, on peut se servir pendant longtemps des mêmes eaux négatives, jusqu'à ce qu'elles atteignent un degré de concentration élevé, 12 ou 13° Baumé. C'est là un moyen de préparation industrielle de la potasse et de la soude, comme résidu de la fabrication du sucre.

Un fait à signaler, c'est que le papier parchemin peut résister pendant près de vingt jours et fournir un bon travail, tandis que dans le procédé de l'osmose sans électrolyse, il est hors de service au bout de quelques jours. L'électrolyse exerce une action conservatrice sur la membrane poreuse.

Lorsqu'on veut faire le dosage de la potasse et de la soude contenues dans des terres on opère de la manière suivante :

On attaque l'échantillon de terre convenablement préparé, 100 gr par exemple, par 5 fois environ son poids d'eau bouillante additionnée de 10 p. 100 d'acide sulfurique. On fait bouillir une demi-heure, on laisse refroidir et on neutralise par du carbonate de chaux en poudre, puis on verse la bouillie dans le compartiment positif de l'électrolyseur, contenant une anode en plomb, et on fait passer le courant en ayant soin d'agiter constamment le mélange avec une baguette de verre. Au bout d'une heure et demie à deux heures, et même quelquefois trois heures, suivant la richesse de la terre en potasse et soude, l'opération est terminée ; il ne reste plus qu'à récolter le liquide négatif des deux compartiments latéraux à l'aide d'une pipette, en ayant soin de maintenir le courant électrique.

On évapore ce liquide à siccité, et après calcination au rouge sombre dans un creuset d'argent, on pèse. Le poids indique le total de la potasse et de la soude ; on reprend par l'eau distillée bouillante et l'on dose la potasse par la méthode au chloroplatinate. Par différence, on a la soude.

Une terre de Roumanie qui par les procédés ordinaires d'analyse — attaque à l'acide nitrique — avait accusé une teneur en KOH de 3,640 pour 1 000, a donné par le procédé que nous venons de décrire 3,627.

Sur les changements du potentiel électrique pendant les réactions chimiques

L'auteur, M. Ch. Zenghelis, rappelle que si on plonge un métal dans une dissolution

d'un sel de ce métal, la lame métallique prend un certain potentiel électrique, constant si la température ne change pas et si aucune réaction chimique ne se produit. Ce potentiel π est donné par la formule de Nernst :

$$\pi = \frac{0,0002}{n} \text{T} \log \frac{\text{P}}{p},$$

où T représente la température absolue, n l'atomicité du métal, P la pression de dissolution et p la pression osmotique des ions du métal.

Comme d'après cette formule le potentiel dépend de la pression osmotique et que celle-ci dépend de la concentration, il s'ensuit que la mesure du potentiel π peut permettre de déterminer la concentration d'une dissolution si les autres grandeurs entrant dans la formule restent constantes. M. Goodwin a appliqué cette remarque à la détermination de la solubilité des sels extrêmement peu solubles et d'un autre côté M. Behrend s'en est servi pour l'étude des doubles décompositions entre deux sels. L'auteur l'a appliquée à une étude semblable.

Comme exemple, M. Zenghelis cite l'étude de l'action du carbonate de sodium sur des sels métalliques. Si on plonge un fil d'argent dans une solution de carbonate de sodium et qu'on y ajoute une goutte d'une solution de nitrate d'argent, il se produit un précipité de carbonate d'argent $Ag^2 CO^3$; en même temps le fil d'argent prend un potentiel qui dépend du nombre des ions argent qui se trouvent dans la liqueur et qui proviennent de la dissolution et de la dissociation d'une quantité de carbonate d'argent extrêmement petite. Le potentiel de la lame d'argent, de 667 millivolts au début, tombe rapidement à 636, puis baisse lentement, sa valeur étant encore de 603 millivolts au bout de 5 heures. En effectuant la même expérience avec le plomb et le cadmium on observe encore une variation importante du potentiel du fil métallique au moment où l'on verse le sel métallique dans la solution de carbonate ; le potentiel du fil baisse ensuite beaucoup plus rapidement que dans le cas de l'argent. Suivant M. Zenghelis cette légère différence entre les résultats obtenus avec l'argent d'une part et le cadmium et le plomb d'autre part, provient de ce que le premier métal ne peut donner qu'un seul carbonate, tandis que les autres peuvent en donner plusieurs.

Des phénomènes analogues se produisent lorsqu'on met quelques gouttes d'une dissolution d'un sel métallique dans une dissolution de phosphate ou d'arséniate de sodium. Si l'on verse quelques gouttes de potasse ou de soude dans une dissolution de sulfate de zinc où plonge un fil de zinc, le potentiel de ce fil subit également une variation importante mais les phénomènes sont alors un peu plus compliqués que dans les exemples précédents.

M. Zenghelis a également pu appliquer la formule de Nernst à la détermination de la quantité de sel ou de métal contenue dans une solution. Ainsi pour déterminer la quantité d'azotate d'argent contenue dans une solution donnée, on plonge dans cette solution un fil d'argent et l'on compare son potentiel à celui d'un fil d'argent plongé dans une dissolution d'azotate d'argent de concentration connue, les deux dissolutions étant reliées par une mèche en coton. Si les deux fils sont au même potentiel, c'est que les concentrations sont les mêmes. Si l'inverse a lieu on étend d'eau la dissolution la plus concentrée jusqu'à ce que la différence de potentiel devienne nulle : les concentrations sont alors les mêmes et si l'on connaît l'une d'elles comme il a été supposé, la mesure du volume d'eau ajouté permettra de calculer l'autre.

Pour déterminer la concentration d'une solution de chlorure on verse un volume connu de cette solution dans une solution d'azotate d'argent de concentration déterminée; après

précipitation du chlorure d'argent, on détermine la quantité d'azotate qui reste dans la liqueur mère par le procédé précédent. On conçoit donc que l'on puisse avoir indirectement la quantité de chlorure qui a servi à faire la précipitation.

Une méthode absolument analogue a permis à M. Zenghelis de déterminer la quantité de sucre contenue dans l'urine.

Électrolyse des solutions concentrées d'hypochlorites
Réactions secondaires de l'électrolyse

M. A. Brochet expose les résultats de nouvelles recherches complétant celles qu'il a faites antérieurement et qui ont déjà été l'objet de trois notes à l'Académie des sciences analysées dans ce journal [1]. Ces résultats sont les suivants :

L'étude de l'électrolyse des solutions concentrées d'hypochlorites montre que dès le début de la réaction et pendant un temps assez long les alcalis n'ont aucune influence : La réduction est à peu près totale et l'oxydation représente à peu près la moitié de celle prévue par la théorie. Mais lorsque la teneur en hypochlorite diminue la réduction diminue également et d'autant plus qu'il y a plus d'alcali; l'effet utile change alors et est finalement une oxydation. Quant à cette oxydation elle diminue également d'autant plus qu'il y a plus d'alcali. En somme la limite de la réaction est la même pour une solution de chlorure et une solution d'hypochlorite renfermant la même quantité d'alcali.

M. Brochet a encore remarqué que dans l'électrolyse des solutions concentrées d'hypochlorite, la quantité de sel détruite soit par réduction, soit par oxydation est plus grande que ne l'indique la théorie. Cela tient à une auto-oxydation de l'acide hypochloreux mis en liberté au voisinage immédiat de l'anode, même en milieu très alcalin. Ce fait, quoique dépendant de l'électrolyse, n'est donc pas régi par les lois de Faraday.

Préparation et propriétés de deux siliciures de bore

M. Stock résume les recherches qu'il a faites en collaboration avec M. Moissan sur les siliciures de bore $Si\ Bo^3$ et $Si\ Bo^6$ obtenus par combinaison directe du bore et du silicium dans le four électrique [2].

Sur les siliciures de fer. Sur la préparation industrielle du silicium

M. Lebeau, l'un des secrétaires de la section d'Electro chimie, a fait une communication sur chacun de ces sujets.

Dans la première. M. Lebeau rappelle qu'il y a quelques années M. Moissan signalait la formation d'un siliciure de fer $Si\ Fe^2$ par union directe du silicium et du fer au four électrique. Plus récemment, il a lui-même obtenu. en opérant de manière que le siliciure de fer formé se trouve en présence de siliciure de cuivre en excès, un autre siliciur de fer cristallisé $Si\ Fe$ [3]. Il a pu retrouver ces deux siliciures dans les ferrosiliciures du commerce.

Dans la seconde, M. Lebeau fait connaître ses recherches [4] sur la réduction de l'éme-

---

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. XXII, p. 159 et 477, 27 janvier et 24 mars 1900, et t. XXIII, p. 509, 30 juin 1900.

(2) *L'Éclairage Électrique*. t. XXIV, p. 159, 28 juillet 1900.

(3) Voir *L'Éclairage Électrique*, t. XIX, p. 238, 13 mai 1899.

(4) Voir *L'Éclairage Électrique*, t. V, p. 277, 9 novembre 1895, t. XIV, p. 121. 15 janvier 1898, t. XV, p. 132 et 263, 16 avril et 7 mai.

raude par le charbon au four électrique. On obtient ainsi du silicium fondu, presque pur, titrant jusqu'à 98 p. 100 de silicium. Ce mode de préparation permettrait d'obtenir industriellement, et à bon compte, du silicium qui ne manquerait pas de trouver un débouché pour la fabrication des ferrosiliciums, fort employés dans l'industrie de l'acier.

A la suite de cette communication, M. Guntz dit que le silicium fondu, probablement préparé par un procédé analogue, est actuellement vendu en Allemagne.

(*A suivre.*)

J. Blondin.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

MAGNÉTISME

Sur les écrans magnétiques, par **H. du Bois** et **A. P. Wills**. *Dr. Ann.*, t. II, p. 78-84, mai 1900.

Les auteurs étudient les écrans magnétiques à trois feuillets, de forme cylindrique ou de forme sphérique. Les calculs, longs et compliqués, conduisent aux résultats suivants :

L'efficacité de l'écran croit à peu près comme le cube de la perméabilité du métal qui le constitue, au moins quand les feuillets sont séparés par des couches d'air d'épaisseur notable. Il est donc avantageux d'employer un métal dont la perméabilité magnétique soit la plus élevée possible. Le calcul suppose d'ailleurs qu'on n'a pas dépassé l'intervalle où la perméabilité initiale est constante : pour les variétés de métal employées, il ne faut pas que le champ soit supérieur à 0,01.

Les feuillets ne doivent pas présenter une trop grande épaisseur : environ 15 p. 100 du rayon moyen dans les cylindres, et 10 p. 100 dans les sphères.

L'efficacité de l'écran triple prend une valeur maxima (maximum relatif) quand le rapport des rayons des couches d'air intermédiaires est de 1,5 à 1,6 pour les cylindres, de 1,3 à 1,4 pour les sphères.

M. L.

Valeurs des éléments magnétiques terrestres à Potsdam pour 1899, par **M. Eschenhagen**. *Dr. Ann.* t. II, 197-199, mai 1900.

Voici ces valeurs :

Élément	Valeurs en 1899	Diff. avec 1898
Déclinaison	10° 0,7′ O	— 4,3′
Composante horizontale	0,18818 C.G.S.	+ 0,00024 C.G.S.
Composante verticale	0,43392 C.G.S.	— 0,00016 C.GS.
Inclinaison	66° 33,3′ N	— 2,0′
Champ total. . . .	0,47297 C.G.S.	— 0,00005 C.G.S.

Des orages magnétiques de durée et d'intensité notables ont été observées ; les 18, 28 et 29 janvier, 12, 23 et 28 février 10, 11, 21, 22 et 23 mars, 18 et 19 avril, 4 et 5 mai, 28, 29 et 30 juin, 23 octobre.

M. L.

MESURES

Trois méthodes pour la mesure des petits allongements, par **G. Ercolini**. *Il Nuovo Cimento*, t. X, p. 241. octobre 1899.

I. — Dans un pont de Wheatstone ABCD dont la diagonale BD contient le galvanomètre et l'autre AC la pile, les deux bras BA et AD sont constitués par une résistance liquide, le sommet A est constitué par une pointe mobile dans le liquide et fixée rigidement au point dont on veut mesurer le déplacement ; les deux autres côtés du parallélogramme sont formés de résistances ordinaires comprenant un fil métallique EF le long duquel se déplace le sommet C.

Au déplacement de A correspond, pour rétablir l'équilibre du galvanomètre, un déplacement de C d'autant plus grand que la résistance EF est plus plus petite par rapport à celle de la solution BAD.

Pour diminuer l'effet de la polarisation, le courant de la pile est interrompu par un commutateur et le système est disposé de telle sorte

qu'il ne passe dans le galvanomètre que le courant d'un sens déterminé.

Avec une résistance liquide formée de sulfate de zinc, on peut obtenir une précision bien supérieure à celle que les autres causes d'erreurs des expériences permettent d'admettre : pour des expériences où l'on n'a pas besoin d'une très grande sensibilité, il convient de diminuer la résistance de la branche liquide, on peut alors employer le mercure.

La méthode du pont Wheatstone a déjà été utilisée par Edison (1), Michelson (2), Weber (3).

II. — La deuxième méthode proposée par l'auteur repose sur la mesure de la chute de potentiel le long d'une forte résistance et nécessite l'emploi d'un électromètre. On oppose à la différence de potentiel entre deux points d'une résistance liquide la chute de potentiel entre les extrémités d'une résistance fil. L'une des électrodes qui plongent dans le liquide est solidaire du point dont on veut mesurer le déplacement, on compense la variation de chute de potentiel qui en résulte par le déplacement de l'une des extrémités de l'autre résistance sur le fil qui la constitue.

La méthode, un peu moins sensible que la précédente, permet d'évaluer les allongements jusqu'au $\frac{1}{1000}$ de mm.

III. Deux fils sont tendus verticalement et fixés à leurs extrémités, une petite bande horizontale de mica est attachée au milieu de ces deux fils, les extrémités de cette bande portent deux petits cylindres de fer qui sont attirés par des aimants permanents disposés de façon à produire une déviation de la barrette de mica. Le système permet de mesurer les petits déplacements de l'extrémité inférieure des fils : si en effet cette extrémité s'élève, les cylindres obéissent à l'attraction et l'on peut évaluer la déviation de l'aiguille de mica au moyen d'un petit miroir qui lui est fixé.

Les fils ne doivent pas être métalliques car l'allongement à mesurer doit être moindre que l'allongement initial du système. Le Dr Ercolini propose l'emploi de fils de soie formés de 3 à 4 fils simples de boussole. Cette disposition permet d'apprécier 0,005 mm.

G. G.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

ACADÉMIE DES SCIENCES

Séance du 23 juillet 1900.

Sur le volant élastique, par **L. Lecornu**. *Comptes rendus*, t. CXXXI, p. 253-255.

Le volant d'une machine agit avec d'autant plus d'énergie que son moment d'inertie est plus considérable ; malheureusement le prix d'acquisition et les frottements sur l'axe augmentent en proportion du poids, ce qui limite pratiquement la grandeur du moment d'inertie. On peut, dès lors, se demander s'il n'y aurait pas avantage à rendre certaines parties du volant mobiles par rapport à la masse principale en les reliant à celle-ci par des ressorts dont la tension variable emmagasinerait, pendant les périodes d'accélération, une fraction du travail en excès pour la restituer pendant les périodes de ralentissement. Cette idée a déjà été émise par l'ingénieur français Raffard, qui prit même, en 1890, un brevet pour l'invention d'un volant, soi disant isochrone, portant quatre masses satellites guidées à peu près radialement, conjuguées entre elles de manière à neutraliser l'action de la pesanteur, et rappelées par des ressorts. Mais l'inventeur n'a donné, à vrai dire, aucune théorie de son appareil, et surtout, il n'a pas recherché si les oscillations inséparables de la présence des ressorts ne présenteraient pas des inconvénients inadmissibles. M. Lecornu, qui s'est fait une spécialité de l'étude des régulateurs de machines, a repris la question par le calcul et est arrivé

(1) *The American Journal of Sc. and Arts*, t. XVII, p. 52, 1879.

(2) *Journal de physique*, p. 183, 1882.

(3) *Archives de Genève*, octobre 1887.

ainsi à plusieurs résultats intéressants (1).

(1) Voici quelques uns de ces résultats :

« Soit A le moment d'inertie de la masse principale. Je suppose, pour simplifier, qu'il y ait une seule masse satellite, de grandeur M, possédant un moment d'inertie a par rapport à son centre de gravité G. J'admets que celui-ci est guidé suivant une droite D, de position quelconque, et rappelé par un ressort en hélice dont une extrémité est fixée en un point de D. Faisons d'abord tourner le volant avec une vitesse constante ω, égale à sa vitesse moyenne de régime. G se place sur D, à une distance R du centre du volant et la droite OG forme alors avec D un certain angle i. Si nous posons $B = A + a + MR^2$, la quantité B est le moment d'inertie total du volant pour la position considérée de G. Le ressort prend une tension égale à $M\omega^2 R \cos i$. Je désigne par $M\,\omega^2\,\rho^2$ le rapport entre la tension du ressort et son allongement ; par conséquent, si le volant était maintenu immobile, la masse M à la suite d'un choc effectuerait des oscillations ayant pour période $\frac{2\pi}{\omega\rho}$.

» Imaginons maintenant que le volant soit écarté de l'état de régime par un moment moteur égal à $C \sin r\omega t$, expression dans laquelle C et r sont deux constantes. Quand C est assez petite pour que la vitesse angulaire reste voisine de ω, la variation $\Delta\omega$ est donnée par la formule

$$\omega\Delta\omega = \frac{C}{r}\,\frac{1 - \cos r\omega t}{B + MR^2\,\dfrac{4\cos^2 i + r^2 \sin^2 i}{\rho^2 - r^2 - 1}}$$

» Si, toutes choses égales d'ailleurs, le ressort était rendu rigide, de manière à immobiliser M dans sa position moyenne, ρ deviendrait infini, et le dernier terme du dénominateur disparaîtrait. L'influence du ressort atténue donc les oscillations pourvu que l'on ait $\rho^2 > r^2 + 1$. En particulier, quand $\rho^2 = r^2 + 1$, la variation de vitesse est supprimée ; le travail moteur est entièrement absorbé par le déplacement relatif de la masse auxiliaire. Pour une valeur donnée de r, on se rapproche d'autant plus de l'isochronisme que l'expression $4 \cos^2 i + r^2 \sin^2 i$ ou $4 + (r^2 - 4) \sin^2 i$ a une plus grande valeur. On voit que, si $r > 2$, il y a avantage à adopter le guidage radial ($i = 0$) ; si, au contraire, $r < 2$, le guidage tangentiel ($i = 90°$) est préférable.

» Quelle que soit la loi du moment moteur, on peut, par la formule de Fourier, le décomposer en une série de termes de la forme $C \sin r\omega t$, en prenant convenablement, pour chaque terme, l'origine du temps. Généralement il y aura dans la série un terme prédominant, et c'est surtout en vue de ce terme que devra être fait le réglage. Plus la série renferme de termes sensibles d'un ordre élevé, plus le ressort doit être rigide. J'ajoute qu'en supposant r infiniment petit, on peut, au moyen des mêmes formules, étudier le passage d'un état de régime à un autre sous l'action d'un moment moteur très lentement croissant. La condition $\rho^2 > r^2 + 1$ se réduit alors à $\rho > 1$.

» Pour que la question soit complètement élucidée, il faut encore se rendre compte de l'effet d'une percussion exercée sur le volant pendant qu'il marche à l'état de régime : on doit, en effet, se préoccuper des oscillations de vitesse qui naîtraient, par exemple, à la suite d'une variation brusque de résistance due à la mise en marche d'un outil. L'étude rigoureuse de ce genre d'oscillations dépend d'une intégrale hyperelliptique. Quand le moment P de la percussion est très petit, l'écart E entre le maximum et le minimum de vitesse est donné par la formule

$$E = \frac{4PMR^2 \cos i}{B(\rho^2 - 1) + 4MR^2 \cos^2 i}\sqrt{\frac{4\cos^2 i + (\rho^2 - 1)\sin^2 i}{B(B - MR^2 \sin^2 i)}}$$

et la durée T d'une oscillation de vitesse est

$$T = \frac{2\pi}{\omega}\sqrt{\frac{B - MR^2 \sin^2 i}{B(\rho^2 - 1) + 4MR^2 \cos^2 i}}.$$

» On voit que, pour $i = 90°$, l'écart E est nul (au premier degré d'approximation). C'est là un avantage important du guidage tangentiel sur le guidage radial. Pour le cas du guidage radiale ($i = 0$), on a simplement

$$E = \frac{8PMR^2}{B(\rho^2 - 1) + 4BMR^2}.$$

» L'importance de l'écart E diminue donc avec le rapport $\frac{MR^2}{\rho^2 - 1}$, tandis que la variation $\Delta\omega$ dépend, comme on l'a vu, du rapport $\frac{MR^2}{\rho^2 - r^2 - 1}$, qu'il faut rendre aussi grand que possible.

» C'est en tenant compte de cette double condition qu'on peut, dans chaque cas particulier, trouver les meilleures valeurs de ρ et de MR^2. »

Sur les fonctions électrocapillaires des solutions aqueuses, par **Gouy**, *Comptes rendus*, t. CXXXI, p. 255-258.

M. Gouy a démontré (1) que la hauteur h du mercure dans l'électromètre capillaire est liée à la différence électrique $\Delta = L \mid Hg$ au ménisque (qui n'est connue qu'à une constante près), par une fonction différente pour les divers corps ; les expériences qu'il a faites depuis permettent d'avoir un aperçu de la forme de cette fonction.

Les mesures (à 18°) sont censées faites avec un tube qui donne 1 000 mm pour le maximum de h avec une solution normale de H^2SO^4. Les solutions très étendues donnent sensiblement la même valeur (2), qui appartient donc à l'eau

(1) *Comptes rendus*, 1er février et 21 mars 1892.

(2) Il est difficile de dépasser la dilution centi-normale pour des expériences complètes, en raison de l'im-

pure ; plus concentrées, elles montrent pour certains corps, un relèvement du maximum, et pour d'autres une dépression, qui croissent avec la concentration.

Les courbes qui représentent cette fonction (Δ, abscisse, h, ordonnée) ont une forme assez complexe [1]. Pour en donner une notion sommaire, M. Gouy considère : 1° l'écart ε du maximum de la valeur 1 000 mm ; 2° la *largeur* de la courbe (intervalle en volts entre deux ordonnées égales), qui sera désignée par λ pour l'ordonnée 900 mm ; 3° la *pente* (valeur absolue moyenne de $\frac{dh}{d\Delta}$ entre deux ordonnées de valeurs indéterminées). Il distingue le côté positif de la courbe et le côté négatif ; ce dernier comprend les fortes polarisations négatives. Le rapport des pentes des côtés positifs et négatifs, prises à même hauteur et autant que possible de 900 mm à 820 mm, est désigné par R.

Les courbes sont dissymétriques, la pente étant plus forte du côté positif. Les platinocyanures font exception et donnent la relation inverse [3]. L'accroissement de la concentration : 1° diminue λ et la largeur à toute hauteur, sauf près du maximum pour les corps où il est relevé ; 2° augmente un peu la pente du côté négatif et la diminue le plus souvent du côté positif, de manière à diminuer la dissymétrie. Bien que ces effets de la concentration laissent reconnaître les caractères essentiels des courbes, il convient, pour les comparaisons des divers corps, de prendre des concentrations *équivalentes* [4]. Dans ces conditions, *le côté positif de la courbe et le maximum avec la partie adjacente du côté négatif dépendent presque uniquement de l'anion ; le reste du côté négatif varie peu et dépend surtout du cathion*. Le point de transition ne peut être fixé exactement ; il est d'autant plus bas que le maximum est plus altéré. Les cathions Mg et Li donnent au côté négatif des pentes un peu plus faibles, et AzH^4 des pentes un peu plus fortes que les autres [1] ; la différence entre les deux peut être estimée à 2 ou 3 p. 100.

Les effets de l'anion sont au contraire considérables, comme le montre le tableau suivant, qui donne pour diverses classes de corps en solutions normales [2] les valeurs moyennes (peu différentes des valeurs individuelles) de ε, λ et R, ainsi que les plus grandes valeurs ε' de ε observées avec les solutions saturées de sels très solubles.

	ε.	λ.	R.	ε'.
Bases	— 1	»	»	»
Carbonates	+ 2	1,10	»	+ 42 (K)
Azotates	— 10	1,06	1,2	— 34 (AzH^4)
Azotites	— 6	1,08	1,4	»
Sulfates	+ 2	1,13	1,5	+ 9 (Al)
Sulfites	— 2	»	»	»
Hyposulfites	— 10	0,79	»	— 30 (Na)
Phosphates	+ 3	1,11	1,7	»
Arséniates	+ 2	1,08	2 env.	+ 4 (Na)
Borates	— 1	1,12	»	»
Silico-tungstates	— 14	0,85	»	»
Sulfures	— 78	0,14	tr. gr.	»
Sulfocarbonates	— 101	0	2,3	— 135 (K)
Sulfotungstates	— 8	0,88	»	»

---

portance que prend la correction exigée par la résistance ohmique de la pointe capillaire, mais la difficulté n'existe pas pour la mesure du maximum, qui peut être faite avec des liquides presque isolants. Ainsi l'alcool méthylique donne 916 mm ; l'alcool amylique 890 mm, l'acide acétique 915 mm, l'acétone 908 mm, le phénol hydraté 859 mm.

(2) On peut en juger par les valeurs de $\frac{d^2h}{d\Delta^2}$, dont l'auteur a donné quelques exemples antérieurement (t. CXXI, p. 765, 25 novembre 1895. *Écl. Élect.*, t. V, p. 471, 7 décembre 1895).

(3) Les nitroferricyanures donnent aussi une pente faible du côté positif, mais le côté négatif n'est pas observable.

(4) Mieux vaudrait sans doute prendre des concentrations équivalentes en *ions libres ;* l'énoncé qui suit ne s'appliquerait que mieux, autant que l'auteur peut en juger actuellement.

(1) Il s'agit des sels ammoniacaux ; l'ammoniaque caustique donne au contraire une pente plus petite et d'autant plus que la concentration est plus grande. L'ammoniaque et son carbonate, l'iodure de cadmium, se distinguent des corps de leur classe. Tandis que les acides non oxygénés se comportent comme leurs sels, les acides oxygénés donnent des dépressions importantes du maximum en solutions un peu concentrées (y compris H^2SO^4, H^3PO^4, qui donnent des relèvements en solutions étendues), même quand leurs sels se comportent autrement. Dans plusieurs cas, ces particularités accompagnent une ionisation anormale déjà connue, mais la discussion de ces anomalies apparentes sera plus opportune quand ces recherches auront été complétées.

(2) Dans certains cas, le défaut de solubilité a obligé à prendre des solutions un peu moins que normales, mais la différence est peu importante.

		ε.	λ.	R.		ε'.
Chlorures...	—	7	0,98	1,9	—	30 (Ca)
Bromures...	—	23	0,80	2,0	—	49 (Na)
Iodures.....	—	65	0,48	1,7	—	107 (Na)
Ferrocyanures.......	+	1	1,03	2 env.		»
Platinocyanures.......	—	69	0,65	0,85	—	74 (K)
Nitroferricyanures......	—	27	»	»		»
Cobalticyanures........	—	17	1,00	»		»
Sulfocyanates	—	45	0,71	1,4	—	100 (AzH^4)
Acétates.....	—	4	1,13	1,4		»
Oxalates	+	1	1,10	1,5	+	6 (K)
Tartrates....	—	1	1,10	1,5	—	1 (K)

Sur le spectre du radium, par **Eug. Demarçay**. *Comptes rendus*, t. CXXXI, p. 258-259.

L'auteur a étudié un échantillon de chlorure de radium préparé par Mme Curie. De cette étude [1] il résulte que les caractères spectraux du radium le rapprochent autant que les propriétés chimiques des métaux alcalino-terreux et que l'échantillon étudié peut être considéré comme du chlorure de radium à peu près pur.

[1] Le spectre de la solution chlorhydrique étendue de ce chlorure, a présenté les raies : 1° des électrodes de platine ; 2° un spectre faible du baryum réduit à ses trois raies principales 4 554,4, 4 130,8 et 3 892,2. On voit aussi une trace de 4 525,1. La raie 4 554,4 est seule notable ; 3° les raies du radium déjà énumérées dans une note antérieure de novembre 1899 (*C. R.*, t. CXXIX, p. 716 ; *Écl. Élect.*, t. XXI, p. 280, 18 novembre 1899). On ne remarque, malgré la faiblesse du spectre du baryum et la force de celui du radium, aucune autre raie qui puisse être attribuée au radium. Cependant deux bandes nébuleuses déjà signalées comme raies nébuleuses faibles s'y font remarquer par leur force devenue considérable. La première commence assez nettement vers 4 621,9, son maximum se trouve vers 4 627,5. Elle est presque symétrique par rapport à ce maximum et se termine vers 4 631,0. Elle doit, ainsi que la suivante (un peu plus forte encore), être brillante à l'œil, car elle est déjà très notable sur les photographies. La deuxième un peu plus forte dégradée vers l'ultraviolet a son début brusque et assez net vers 4 463,7, son maximum à 4 455,2, la fin du maximum vers 4 453,4. Mais une nébulosité décroissante très graduellement, se remarque encore ensuite. Elle paraît se terminer vers 4 390,0,

Les raies fortes du radium sont sur ce spectre extrêmement puissantes et intenses. Elles atteignent l'égalité avec les plus intenses que l'auteur ait jamais vues, surtout 3 814,7, 4 340,8 et 4 683,2.

Enfin, d'après l'examen de ces divers clichés, la très faible raie 4 364,2 signalée comme appartenant au radium, semble due au platine ($\lambda = 4\,364,4$) ; il n'est pas certain non plus que la raie 4 600,3 (très faible aussi) soit bien due au radium, sans qu'on puisse voir à quel autre élément elle pourrait être due.

Action de divers métaux divisés, platine, cobalt, fer sur l'acétylène et sur l'éthylène, par **Paul Sabatier** et **J.-B. Senderens**. *Comptes rendus*, t. CXXXI, p. 267-270.

Les auteurs font connaître les résultats des expériences dont il est question dans la communication faite par l'un deux au Congrès de Chimie appliquée, résultats indiqués sommairement dans l'article consacré à ce Congrès (v. p. 224).

Séance du 30 juillet 1900.

Sur du baryum radio-actif artificiel, par **P. Debierne**. *Comptes rendus*, t. CXXXI, p. 333-335, 18 novembre 1899.

M. et Mme Curie ont montré [1] que les corps qui restent longtemps dans le voisinage de corps radio-actifs deviennent eux-mêmes radio-actifs, par suite d'un phénomène d'induction [2]. M. A.

[1] *Écl. Élect.*, t. XXI. p. 279.

[2] MM. Giesel (*Soc. de Phys. de Berlin*, janvier 1900) et Rutherford (*Philosophical Magazine*, février 1900) ont également observé la production de radio-activité induite ; le premier, en se servant d'une solution de sel de baryum radifère ; le second, en utilisant la radio-activité du thorium. Enfin, tout récemment, M. Villard (*Bulletin de la Soc. de Phys.*, juillet 1900) a signalé la production d'une radio-activité induite du bismuth, très faible il est vrai, sous l'influence des rayons cathodiques du tube de Crookes.

M. Villard disait : On réussit à rendre radio-actif le bismuth ordinaire en le soumettant à l'action des rayons cathodiques dans un tube de Crookes. Le meilleur résultat s'obtient en prenant le métal comme anticathode-anode. Les régions plus particulièrement frappées par les rayons incidents sont les plus actives. On réussit encore en prenant le bismuth comme cathode ; la région de départ des rayons est alors la moins active. Enfin le bismuth pulvérisé et transporté sur les parois par le courant est également actif.

L'activité obtenue dans des expériences, ayant duré environ une heure, est très faible, notablement inférieure à celle de l'uranium. Elle est cependant suffisante pour permettre de vérifier photographiquement que les rayons du bismuth modifié traversent facilement le papier noir ou l'aluminium battu, ou les deux réunis. Cette radio-activité acquise paraît durable ; au bout d'un mois, elle n'a pas diminué d'une façon appréciable.

Parlant des expériences de M. Giesel, il ajoutait que ces expériences ne lui paraissent pas comparables aux siennes. Le phénomène est, au fond, probablement le même dans les deux cas ; mais l'interprétation des résul-

Debierne a cherché à obtenir la radio-activité induite au moyen de l'actinium et a spécialement étudié l'action sur les sels de baryum.

Il a obtenu un chlorure de baryum actif, en le faisant séjourner en dissolution avec un sel d'actinium très actif, et un sulfate plus actif encore, en précipitant du sulfate de baryte dans une solution renfermant l'actinium.

Si on laisse le baryum peu de temps en présence de l'actinium, l'activité induite est insignifiante ; si on le laisse un temps plus long, on trouve que l'activité induite augmente avec la durée du contact, au moins pendant une dizaine de jours. M. Debierne a obtenu ainsi une quantité notable de chlorure de baryum radioactif, dont l'activité peut être plusieurs centaines de fois plus grande que celle de l'uranium ordinaire.

Certaines des propriétés de ce baryum radioactif artificiel sont les mêmes que celles du baryum radifère extrait de la pechblende, mais quelques autres diffèrent. Ainsi il ne possède pas le spectre du radium.

En outre la radio-activité du chlorure de baryum artificiellement actif, diminue beaucoup d'intensité avec le temps. En trois semaines, elle est devenue trois fois plus faible qu'au début, tandis qu'au contraire l'activité du chlorure de baryum radifère ou des sels renfermant de l'actinium commence par augmenter, puis reste constante.

La radio-activité de ce chlorure de baryum activé ne provient d'ailleurs ni d'actinium ni de radium entraîné. En effet, cette manière de voir est d'abord peu vraisemblable, étant données les méthodes de séparation employées. Ensuite, on comprendrait difficilement que l'entraînement des substances actives par le baryum se produisît seulement après un temps très long. Enfin l'absence de spectre et la diminution d'activité du produit montrent que l'activité n'est due ni au radium ni à l'actinium[1].

tats est singulièrement plus facile avec le tube de Crookes et peut conduire à une explication simple des phénomènes de radio-activité. Il y aurait lieu plutôt de faire un rapprochement avec la radio-activité induite découverte par M. et Mme Curie.

[1] M. Lengyel (*Berichte*, mai 1900) a publié récemment qu'il avait obtenu du baryum radio-actif au moyen de l'uranium. Suivant M. Debierne il est très facile de montrer que, dans l'expérience de M. Lengyel, on est en présence d'un entraînement de matières radio-actives, probablement l'actinium, par les sels de baryum et non d'un phénomène d'induction. Des expériences récentes de MM. Crookes (*Proceedings Royal Society*, mai 1900), Giesel (*Berichte*, 1900), Becquerel (*Comptes rendus*, juillet 1900) ont d'ailleurs confirmé cette manière de voir.

Sur la thermo-électricité des aciers, par **G. Belloc.** *Comptes rendus*, t. CXXXI, p. 336-337.

L'étude de la thermo-électricité du fer, pur ou carburé, a permis à l'auteur de construire la courbe $f\left(\frac{dE}{dt}, t\right) = 0$, représentative des pouvoirs thermo-électriques, de couples aciers-platine[1].

[1] Les expériences ont été faites entre 15° et 1200°. M. Belloc s'est servi à cet effet d'un four électrique permettant d'obtenir des températures très élevées (1300° et au delà), avec une vitesse de chauffe ou de refroidissement aussi lente que l'on désire ; dans ce four est introduit un système de trois fils : acier, platine et platine rodhié, entouré d'un faisceau de l'acier à étudier, ce qui permet de déterminer en même temps la force électromotrice E, la température t et la vitesse de refroidissement ou d'échauffement $\frac{d\theta}{dt}$; enfin, pour se mettre à l'abri de toute cause d'altération des fils à ces hautes températures, le vide est maintenu dans l'appareil pendant les expériences.

Les études ont porté principalement sur trois échantillons :

	Pour 100 de carbone.
A. Fer doux	traces
B. Acier doux	0,30
C. Acier dur	1,25

Les courbes, déduites des expériences faites, affectent la même allure ainsi qu'il est facile de s'en convaincre d'après les résultats ci-après :

Température		100°	470°	650°
Valeurs de $\frac{dE}{dt}$ en microvolts.	A.	20	9,9 (min.)	13,6
	B.	18	9,8 (min.)	14
	C.	16,5	10 (min.)	14,4 (max.)
		770°	800°	860°
Valeurs de $\frac{dE}{dt}$ en microvolts.	A.	18	18,8	19,2 (max.)
	B.	18,4 (max.)	17,6	11
	C.	7,6	7 (min.)	9
		900°	940°	1100°
Valeurs de $\frac{dE}{dt}$ en microvolts.	A.	15	11,2 (min.)	15
	B.	9,6 (min.)	10,6	15,8
	C.	11	12,4	17

De ces résultats l'auteur rapproche les suivants obte-

Les courbes obtenues présentent un maximum compris entre deux minima ; les premiers minima ont lieu à la même température et ont sensiblement la même valeur ; les maxima se produisent un peu avant que le point critique a_3 se manifeste et suivent les déplacements de ce point ; les élongations correspondantes s'élèvent avec la température ; enfin les seconds minima suivent les positions respectives des maxima et les courbes conservent ainsi la même amplitude.

Les valeurs de $\frac{dE}{dt}$ montrent que les valeurs de E sont plus faibles au refroidissement qu'à l'échauffement, surtout entre la température maxima à laquelle on opère et la température donnant le maximum de la courbe ; en faisant varier dans de larges limites les vitesses d'échauffement et de refroidissement, l'auteur put assurer que si la viscosité joue un rôle entre les températures extrêmes, l'hystérésis en joue un aussi entre les températures citées plus haut.

Sur un moyen d'atténuer l'influence des courants industriels sur le champ terrestre, dans les observatoires magnétiques, par **Th. Moureaux.** *Comptes rendus*, t. CXXXI, p. 337-340.

Depuis le 22 juin dernier, la traction électrique à trôlet a été substituée à l'air comprimé sur la section des tramways nogentais comprise entre la porte de Vincennes et la gare de Nogent-sur-Marne ; la distance minimum de la ligne à l'observatoire du Pac Saint-Maur est de 3 200 m. L'influence des courants dérivés se fait sentir sur les courbes de variations magnétiques, qui restent plus ou moins troublées pendant toute la durée du service quotidien ; elle se manifeste non par des déplacements soutenus des aimants, mais par des séries de vibrations, symétriques de part et d'autre de l'axe des courbes. L'effet produit, très variable, est en raison de la dépense d'énergie, et présente des maxima qui semblent correspondre principalement aux démarrages des voitures après les arrêts ; M. Moureaux a cherché à le rendre pratiquement négligeable.

« Si, dit-il, le courant perturbateur faisait subir à l'axe magnétique de l'aimant des déplacements réels, il n'y aurait sans doute aucun mode de correction susceptible d'éliminer cette cause d'erreur ; mais, en raison de la forme particulière des troubles observés, il est possible sinon de les supprimer en toute rigueur, au moins de les atténuer jusqu'à les rendre négligeables dans la pratique. Il suffit pour cela de réaliser les trois conditions suivantes : 1° emploi de barreaux à section carrée ou rectangulaire, fortement aimantés ; 2° augmentation, par l'addition d'une pièce de cuivre, du moment d'inertie du système oscillant ; 3° usage d'un amortisseur.

» J'ai modifié d'après ces règles un déclinomètre et un bifilaire, en choisissant des barreaux carrés de 0,05 m de long sur 5 mm de large dont l'intensité d'aimantation soit voisine de 200, en employant un étrier de forme spéciale, qui augmente de 1/3 environ le moment d'inertie du système oscillant, enfin, en disposant l'aimant de façon que l'une de ses faces oscille immédiatement au-dessus d'une plaque de cuivre rouge. La marche de ces deux appareils a été suivie régulièrement pendant quelque temps, au moyen de l'enregistrement habituel ; la balance magnétique, déjà peu sensible de sa nature, se prêterait sans doute plus difficilement aux modifications nécessaires.

» L'enregistreur magnétique de M. Mascart permettant l'emploi d'un troisième instrument j'en ai profité pour recueillir en même temps les indications fournies par un bifilaire normal ; on peut ainsi juger, à première vue, de l'importance du mode de correction sur les variations de la composante horizontale.

» Une première série d'expériences a été faite à l'observatoire du Parc Saint-Maur. Grâce à l'obligeance de M. le Général gouverneur de Paris, on a pu obtenir deux autres séries dans les forts de Vincennes et de Nogent, au voisinage plus immédiat de la cause perturbatrice.

» La comparaison des mesures faites dans ces stations [1] montre que la méthode de correction,

---

nus dans des expériences simultanées et donnant les points critiques :

	a_1.	a_2.	a_3.	
A.......	insens.	740°	870°	
B.......	700°	780	780	(a_2, a_3, confondus)
C.......	660°	660	660	(a_1, a_2, a_3 confondus)

---

[1] Voici les observations faites dans ces stations :

Parc Saint-Maur. — Du 7 au 12 juillet ; distance du

dans les conditions où elle a été appliquée, réduit dans la proportion de 10 à 1 environ l'influence du courant industriel sur l'appareil des variations de la composante horizontale. Il est très possible que les résultats puissent être améliorés, en augmentant encore le moment d'inertie et en faisant usage de barreaux plats d'une forme se rapprochant de celle des aiguilles d'inclinaison. Des expériences définitives ne sauraient être entreprises que dans un observatoire magnétique permanent : c'est dans ce but que les appareils ont été remis en observation dans notre ancien pavillon magnétique.

---

tramway, 3200 m. La déclinaison, et surtout la composante verticale, sont peu affectées, mais le barrau du bifilaire effectue, autour de sa position moyenne, des oscillations rapides, dont l'amplitude correspond, en certains moments, à 0,000 20 (unités C.G.S.). Ces oscillations disparaissent presque complètement sur la courbe du bifilaire modifié.

Fort de Nogent. — Du 19 au 28 juillet; distance du tramway, 1050 m. Une seconde ligne de tramways électriques, reliant Vincennes à Villemomble, passe au nord du fort, à une distance plus grande. En outre, les voitures des deux lignes, pour sortir du dépôt et y rentrer, circulent, au début et à la fin du service journalier, sur une route à 300 m seulement de la casemate dans laquelle était établi le magnétographe. Les oscillations de l'aiguille aimantée horizontale sont plus accentuées qu'au Parc Saint-Maur; leur amplitude dépasse fréquemment 0,000 30 sur le bifilaire normal, tandis qu'elles sont à peine sensibles (0,000 03 au maximum) sur le bifilaire modifié. La différence d'altitude entre la gare et le fort de Nogent étant de près de 50 m, les courants vagabonds auraient sans doute une action dissymétrique sur les variations de la composante verticale.

Fort de Vincennes. — Du 12 au 19 juillet; distance du tramway, 240 m. Le magnétographe a été installé dans une cave, au pied du donjon. La ligne de tramways de Vincennes à Villemomble se trouve à 600 m de distance, dans la direction du nord; celle de Vincennes à Nogent passe devant l'entrée du fort. Dans ces conditions, l'influence du courant perturbateur est nécessairement considérable; elle se traduit, sur la courbe du bifilaire ordinaire, par des oscillations dont l'amplitude totale est par instants supérieure à 0,000 50, soit $\frac{1}{400}$ de la composante horizontale, et se trouve réduite à 0,000 05 environ sur le bifilaire spécial. Les troubles sont de l'ordre des dixièmes de minute sur la courbe du déclinomètre.

» Il importe de rechercher si les variations naturelles du champ terrestre ne subiraient pas elles-mêmes l'influence du mode de correction adopté. La longue période de calme magnétique qui dure depuis plusieurs mois ne permet pas de répondre catégoriquement sur ce point capital. Toutefois, à diverses dates, notamment les 24, 25 et 26 juillet, il s'est produit une certaine agitation magnétique dont les points extrêmes diffèrent, le 24, de 0,00063 pour la composante horizontale : les deux bifilaires établis à Nogent donnent des courbes qui se superposent l'une et l'autre, même dans les détails, à la courbe correspondante relevée à l'observatoire du Parc Saint-Maur. On peut donc espérer que les modifications proposées ne troubleraient pas les phénomènes naturels, les variations de la force magnétique se traduisant nécessairement par le déplacement de l'axe magnétique de l'aimant, tandis que, comme le montrent les magnétogrammes, les courbes sont simplement et symétriquement épaissies, plus ou moins, sous l'influence des courants accidentels. »

Sur l'électrolyse des solutions concentrées d'hypochlorites, par **André Brochet**. *Comptes rendus*, t. CXXXI, p. 340-343.

Dans cette note l'auteur développe un point de la communication qu'il a faite au Congrès de chimie appliquée (voir p. 232). Il indique les résultats des expériences qui l'ont conduit à dire que l'électrolyse d'un hypochlorite se comporte finalement comme celle d'un chlorure et tend vers les mêmes limites.

Il conclut de ces résultats qu'il y a peu d'espoir de faire des solutions concentrées d'hypochlorites par électrolyse directe, même avec addition d'un chromate, addition qui d'ailleurs enlèverait toute application aux solutions ainsi obtenues.

Le Gérant : C. NAUD.

Tome XXIV. Samedi 18 Août 1900. 7e Année. — N° 33

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

L'EXPOSITION UNIVERSELLE (1)

GROUPE ÉLECTROGÈNE DE 800 KILOVOLTS-AMPÈRES DE LA COMPAGNIE DE FIVES-LILLE (2)

La compagnie de Fives-Lille quoique concessionnaire des brevets de l'Allgemeine Elektricitäts Gesellschaft a exposé un groupe électrogène complet, chaudières, machine à vapeur et dynamo, dont l'alternateur a été étudié complètement par elle. Ce dernier présente au point de vue mécanique quelques dispositions intéressantes que nous signalerons plus loin.

---

(1) Voir dans *L'Éclairage Électrique* les articles suivants relatifs à l'Exposition :

BARBILLION. Appareil commutateur Dardeau ; application à la téléphonie, t. XXIII, p. 277.

BLONDIN (J.). — La décoration lumineuse du Palais de l'Electricité, t. XXIII, p. 237. — Moteurs à gaz Charon, t. XXIII, p. 317. — Appareil Rieder pour la gravure électrolytique des métaux, t. XXIII, p. 353. — L'électricité à l'Exposition, t. XXIII, p. 393. — Le télégraphone Poulsen, t. XXIII, p. 397. — Les Usines génératrices du Champ-de-Mars, t. XXIII, p. 433. — Le tramway électrique de l'annexe de Vincennes, t. XXIII, p. 447. — Accumulateurs Commelin et Viau à gaz sous pression, t. XXIII, p. 452. — Accumulateurs Commelin et Viau, légers et à haute tension.

GUILLAUME (J.). Block-système électrique Krisik, t. XXIV, p. 5. — Dispositif Fischer-Hinnen pour le démarrage des moteurs asynchrones triphasés, t. XXIV, p. 131.

GUILBERT (C.-F.). Groupe électrogène à courants diphasés de 750 kilowatts de la maison J. Farcot, t. XXIV, p. 41.

MUNIER. Télégraphe multiple Munier, t. XXIV, p. 81.

NELSON-UHRY (E.). Le Palais de l'Electricité et le Château-d'Eau, t. XXII, p. 281. — Les tapis élévateurs à mouvement continu : tapis système Cance et Granddemange ; tapis système Le Blanc, t. XXIII, p. 197 et 476. — Les fontaines lumineuses et le Château d'Eau, t. XXIV, p. 201.

REYVAL (J.). Procédé électrolytique de décapage de la Vereingnite Elektricitaets Actiengesellschaft, t. XXIV, p. 91. — Groupe électrogène Piguet-Grammont de 600 kilowatts. — Accumulateurs Heinz, t. XXIV, p. 161. — Accumulateur Omega, t. XXIV, p. 165. — Chaudière Solignac, t. XXIV, p. 167. — Gazogènes Riché, t. XXIV, p. 212 — Système de traction à contacts superficiels H. Dolter, t. XXIV, p. 216.

VIGNERON (E.). Concours de tourisme automobile, t. XXIII, p. 473.

(2) La publication des groupes électrogènes est faite sous la direction de M. C.-F. Guilbert.

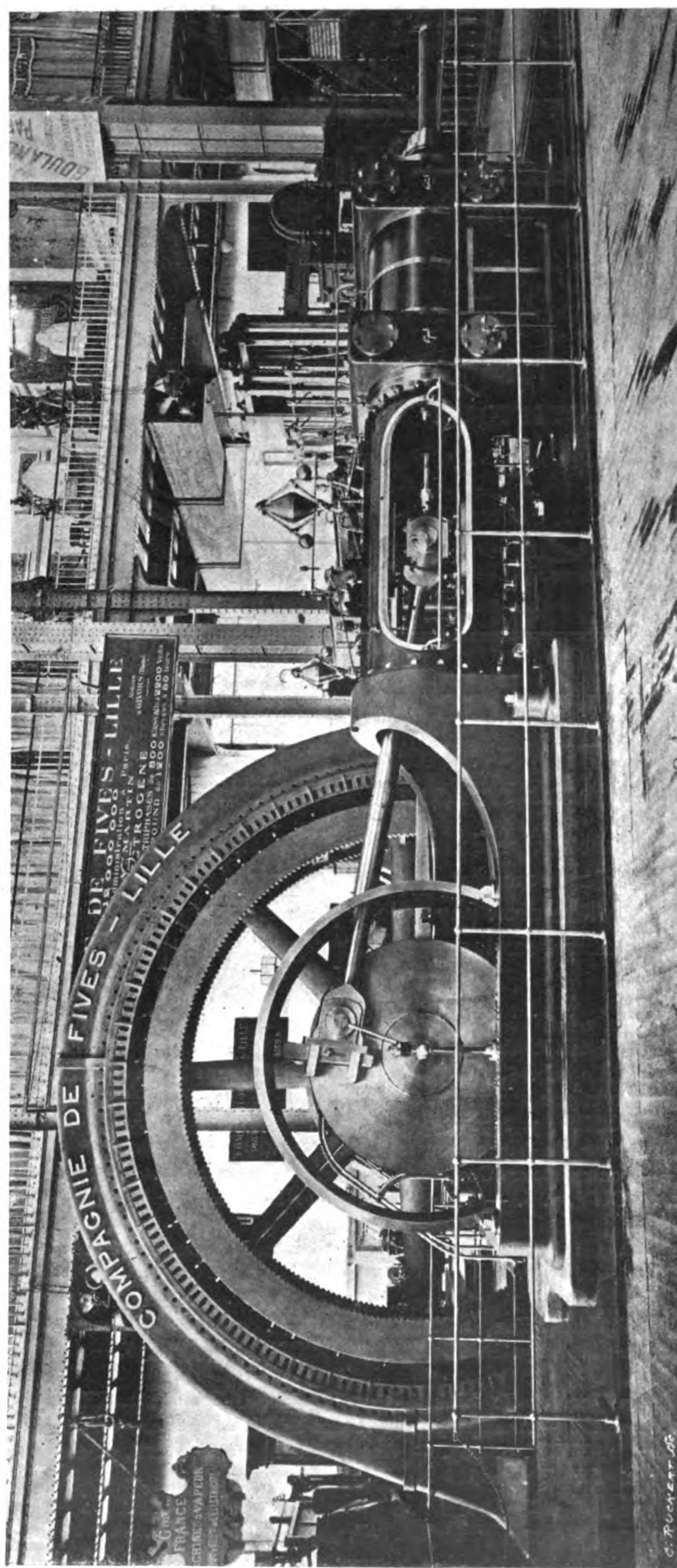


Fig. 1. — Vue du groupe électrogène de la Compagnie de Fives-Lille.

Avant de passer à la description de l'alternateur, nous donnerons quelques indications générales sur le moteur à vapeur.

Moteur a vapeur. — Le moteur à vapeur est du type compound à deux cylindres horizontaux agissant sur des manivelles calées à angle droit sur un même arbre.

Celui-ci porte l'inducteur volant de l'alternateur, lequel pèse environ 35 tonnes et dont la masse donne à la machine un coefficient d'irrégularité qui n'atteint pas 1/250 à la vitesse normale.

Les dimensions principales du moteur sont les suivantes :

Diamètre du petit cylindre . .	700 mm
Diamètre du grand cylindre . .	1300 »
Courses communes des pistons	1400 »

L'arbre moteur repose sur deux paliers faisant chacun partie d'un châssis ou bâti plat solidement ancré dans la maçonnerie de la fondation et relié au cylindre correspondant par une glissière formant entretoise. Les cylindres reposent sur des plaques d'appui permettant leur libre dilatation vers l'arrière.

Le condenseur par injection et la pompe à air verticale sont installés dans le sous-sol ; La pompe est actionnée par un balancier commandé lui-même par la crosse du piston du grand cylindre.

La distribution de vapeur dans les deux cylindres est du genre Corliss. L'admission peut varier de 0 à 45 % dans le petit cylindre et de 12 à 60 % dans le grand. L'admission dans chaque cylindre est sous le contrôle d'un régulateur à force centrifuge. Les deux régulateurs sont identiques et leurs manchons sont reliés par un arbre tranversal qui assure l'identité de leurs déplacements.

Dans les limites de puissance correspondant aux emplois pratiques de la machine, la régularisation limite les variations de vitesse entre 1 p. 100 en plus et 1 p. 100 en moins de la vitesse de régime.

La pression de la vapeur alimentant le petit cylindre est de 10 kg : cm².

La figure 1 est une photographie du groupe.

Alternateur. — La dynamo génératrice à courants triphasés est montée directement sur l'arbre du moteur à vapeur entre les deux paliers. Elle comporte un induit fixe et un inducteur mobile, ce dernier est à pôles alternés et fixés sur la jante du volant de la machine à vapeur. La puissance apparente de l'alternateur est de 800 kilovolt-ampères pour un facteur de puissance égal ou supérieur à 0,70.

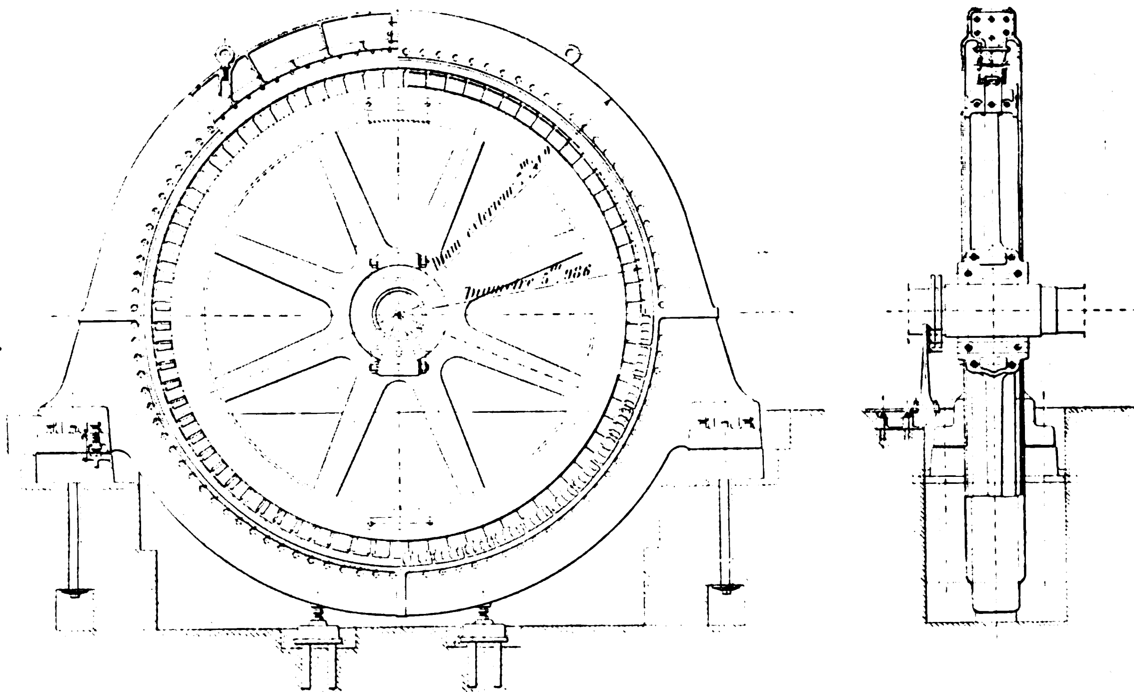


Fig. 2 et 3. — Vue d'ensemble et coupes partielles de l'alternateur de la Compagnie de Fives-Lille.

La tension aux bornes est de 2 200 volts et par suite l'intensité du courant par phase de 210 ampères. La fréquence est de 50 périodes par seconde.

Induit. — L'induit comme le montre les figures 2 et 3, représentant des vues d'ensemble avec coupes partielles, enveloppe complètement l'inducteur. La carcasse supportant les tôles est en fonte et divisée en quatre segments par des joints verticaux et horizontaux. Ces segments, assemblés deux à deux par quatre boulons et des petits boulons de centrage, forment par leur réunion un anneau à l'intérieur duquel sont montées les tôles de l'induit.

La carcasse de l'induit repose sur ses plaques de fondation par l'intermédiaire de vis de calage V, ainsi que le montrent les figures 4 et 5, vis qui permettent d'obtenir un centrage précis dans le sens vertical. Le réglage dans le sens horizontal est fait une fois pour toutes et est maintenu le même à l'aide de goujons de centrage G. Après le réglage, l'induit est rendu immobile à l'aide de boulons B.

Le noyau d'induit (fig. 6 et 7) est formé de feuilles de tôle de 0,05 cm d'épaisseur, isolées

par du papier de soie de 3 centièmes de millimètre et découpées en segments; elles sont serrées dans la carcasse, entre une bride fixe et des segments amovibles, par des tiges filetées aux deux bouts et qui les traversent. La distance entre ces tiges et le bord extérieur des tôles est très faible, de telle sorte qu'il ne passe pour ainsi dire aucun flux derrière elles et qu'il est par suite inutile de les isoler, ce qui simplifie la construction tout en rendant l'ensemble plus solide.

Ces segments sont percés de trous légèrement ouverts qui forment, après leur juxtaposition, des encoches dans lesquelles on enfonce les tubes en micanite destinés à recevoir l'enroulement. Les bobines d'induit sont fixes ; on exécute à l'atelier le bobinage des quatre voussures moins les bobines correspondant aux joints qu'on fait sur place une fois la machine montée. Les extrémités des bobines sont recouvertes de rubans isolants et protégées contre les chocs par des segments ajourés en fonte, fixés sur des rebords venus avec la carcasse. La sortie du courant se fait par trois bornes placées sur le côté de l'induit à la partie inférieure.

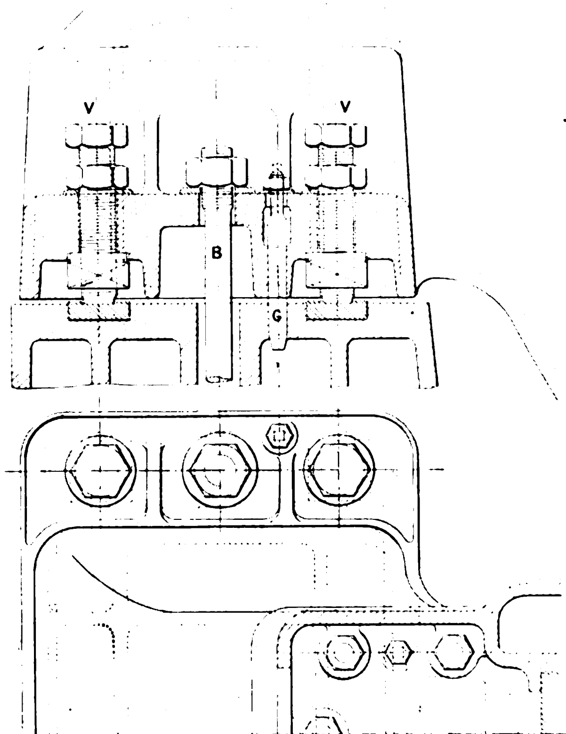


Fig. 4 et 5. — Détails de construction de la carcasse de l'induit montrant le dispositif pour le réglage de l'entrefer.

Le nombre des encoches de l'induit est de 6 par pôle ; ceux-ci étant au nombre de 76, il y a 456 trous. Les encoches ont une forme rectangulaire et sont légèrement ouvertes ; leur hauteur radiale est de 2,9 cm et leur largeur de 1,52 cm. L'épaisseur de l'isthme ménagée entre le caniveau et l'entrefer est de 2 mm environ et la largeur de l'ouverture de 3 mm. L'épaisseur du tube en micanite qui est destiné à contenir l'enroulement est de 3 mm.

Chacune des $38 \times 3 = 114$ bobines est répartie dans 4 encoches et comprend cinq spires de 4 fils en quantité. Chaque encoche contenant 10 fils on voit facilement que chaque bobine comprend deux spires larges c'est-à-dire enroulées dans les encoches extrêmes correspond à une section, deux spires étroites bobinées dans les encoches intérieures et 1 spire mixte, enroulée dans une encoche extrême et une intérieure pour chacun des deux groupes de deux fils en quantité.

Un tel bobinages peut se faire facilement sans croisements, il suffit pour s'en assurer de jeter les yeux sur le schéma de la figure 8 représentant l'enroulement d'une bobine induite et sur laquelle chacun des traits pleins ou ponctués est supposé représenter un groupe de deux fils en quantité.

Le diamètre du fil induit est de 3,9 mm nu et 4,4 mm guipé.

La résistance de chaque phase est de 0,0778 environ ; le montage de l'induit est en étoile.

La perte dans l'enroulement induit est de 1,3 p. 100 de la puissance apparente.

La ventilation des tôles induites est assurée, à l'aide de trous percées dans la carcasse enveloppant ces tôles.

La largeur utile du paquet de tôles induites est de 27 cm et sa hauteur radiale de 22,5 cm.

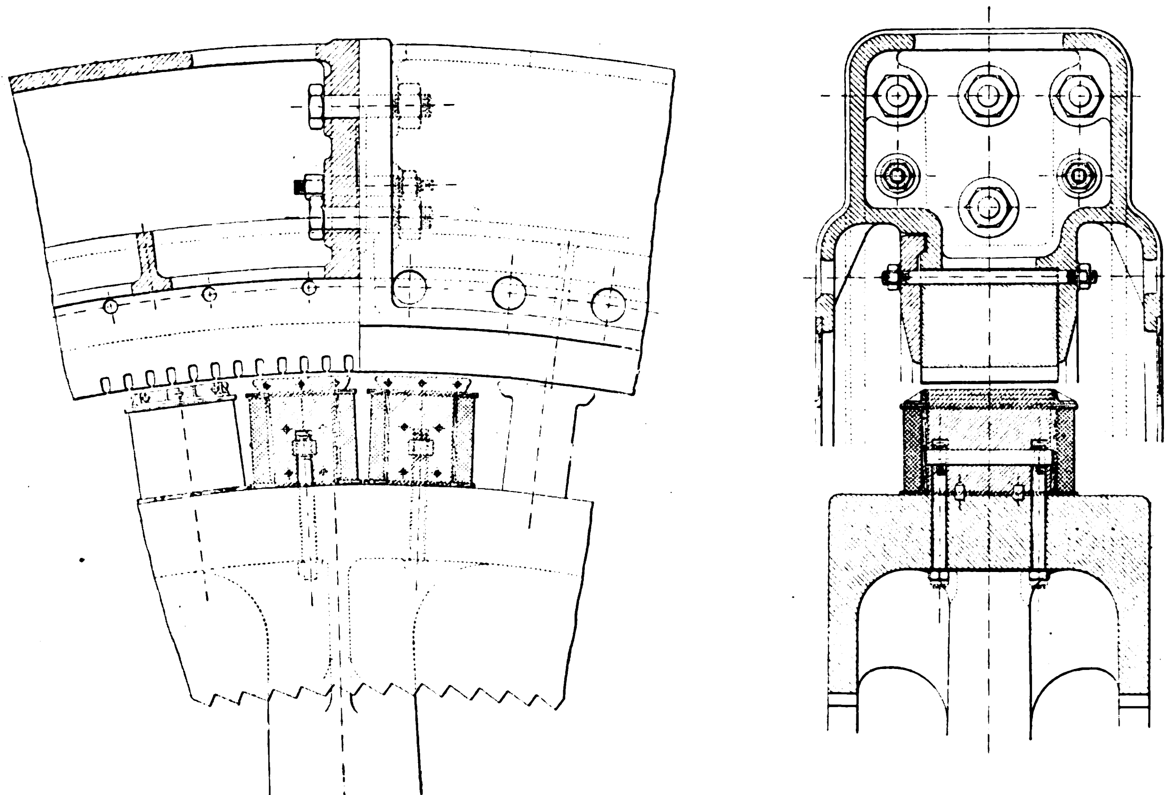


Fig. 6 et 7. — Coupes de l'induit et de l'inducteur par l'axe et perpendiculaire à l'axe.

Le diamètre d'alésage de l'induit est de 6 m et le diamètre extérieur des tôles de 6,45 m.

Le diamètre maximum extérieur de la carcasse atteint 7,40 m et la largeur totale de l'induit 70 cm.

Le poids de l'induit complet sans les plaques de fondations est de 33 500 kg.

Inducteurs. — Les noyaux inducteurs, au nombre de 76, sont montés sur la jante du volant de la machine à vapeur ; ils sont constitués par des tôles d'un millimètre d'épaisseur, réunis par sept rivets dont trois à l'endroit de l'épanouissement polaire. Chaque noyau est en outre traversé dans toute sa longueur par une barre d'acier de section rectangulaire entrée à force et formant écrou double pour les deux vis qui maintiennent le noyau. Ces vis sont engagées par l'intérieur de la jante qu'elles traversent complètement pour venir se visser dans la traverse du noyau. Chaque noyau est ajusté sur le volant de façon à diminuer l'importance du joint magnétique ; son centrage est assuré par des goujons

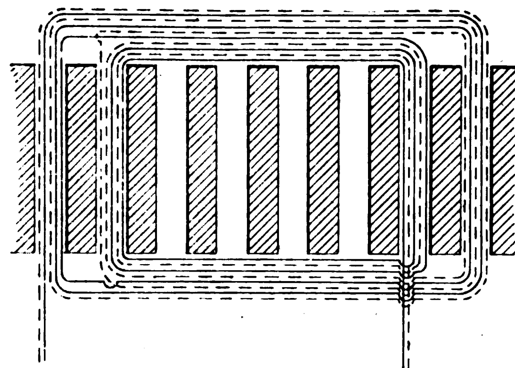


Fig. 8. — Schéma du bobinage.

vissés dans la jante et qui viennent s'engager à une profondeur de 5 mm environ dans des trous pratiqués à la base du noyau. L'entrefer entre la surface extérieure du pôle et la

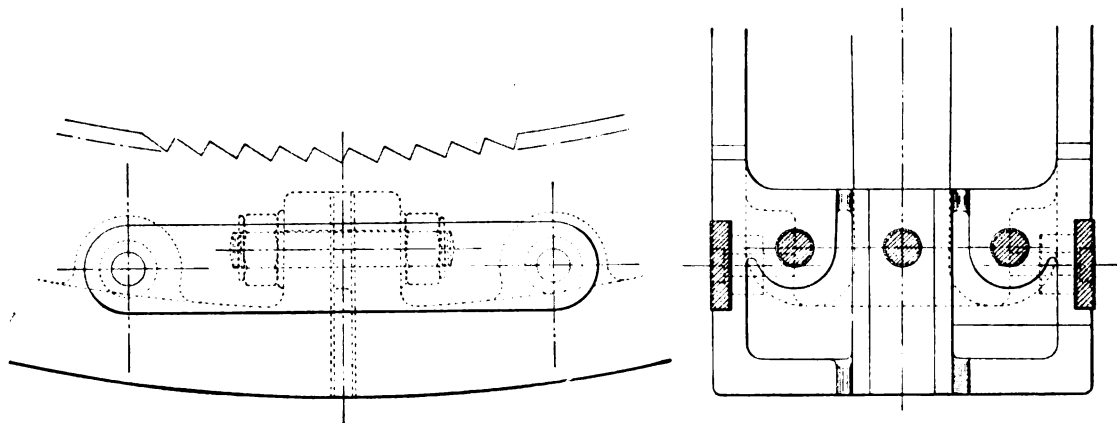


Fig. 9 et 10. — Détails de construction des joints du volant.

surface intérieure des tôles de l'induit étant de 7 mm, on peut, en retirant les deux vis qui maintiennent le pôle, le démonter latéralement sans toucher à la carcasse d'induit et remplacer sans perte de temps une bobine inductrice avariée. Le desserrage des vis est empêché en plaçant, entre la jante et les têtes des deux vis à six pans qui retiennent un pôle, une plaque de tôle dont on relève les extrémités après serrage de façon à constituer un frein énergique.

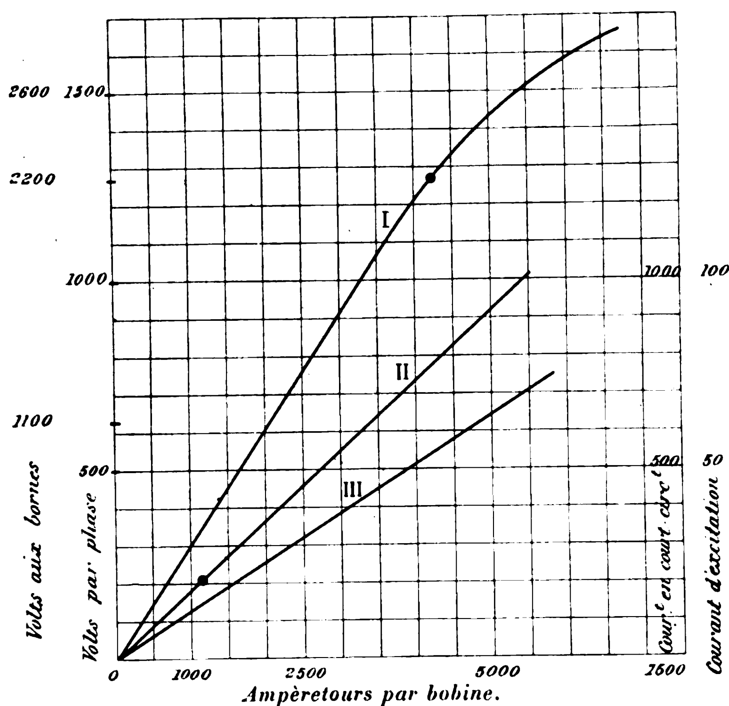


Fig. 11. — Caractéristique à vide et en court circuit.

I, caractéristique à vide ; — II, caractéristique en court circuit ; III, droite de correspondance des ampèretours au courant d'excitation.

Pour rebobiner une bobine avariée dans l'induit, il suffit de retirer deux ou trois noyaux polaires de façon à dégager l'induit sur une portion suffisante.

Les bobines inductrices entourant les pôles sont enroulées sur des carcasses en laiton fondu, isolées intérieurement et maintenues en place par les rebords des pièces polaires et par des équerres en bronze rivées sur les tôles par les rivets d'assemblage de celles-ci. Ces bobines sont groupées en deux circuits réunis en parallèle et alimentés de courant continu à 220 volts pour l'excitation, par l'intermédiaire de quatre frotteurs et de deux bagues isolées montées sur l'arbre.

Le nombre de spires par bobine inductrice est de 155, réparties en 5 couches de 31 spires chacune. Le diamètre du fil inducteur est de 4,7 mm et 5,2 mm avec le double guipage ; la section est de 17,35 mm².

La résistance à chaud des deux circuits inducteurs en parallèle est de 3,06 ohms environ.

La jante en fonte a une section en forme d'U et est réunie au moyen du volant par 8 bras à section ovale.

Ce volant a été coulé en deux parties, lesquelles sont assemblées à la jante par 3 boulons à chaque joint. En outre deux frettes en acier très résistant sont placées dans des logements spéciaux ménagés sur les deux faces du volant à l'endroit de chaque joint et sont serrées à l'aide de deux boulons traversant l'épaisseur de la jante. Les figures 9 et 10 se rapporte à cette disposition spéciale.

Les deux parties du moyeu sont assemblées à l'aide de 8 boulons et l'entraînement du volant se fait par deux clavettes à 90°. Le diamètre extérieur du volant est de 5,986 m et celui de la jante de 5,560 m. La longueur totale de cette dernière atteint 65 cm, tandis que la longueur utile ou du paquet de tôles est de 26 cm seulement.

La hauteur des pôles est de 21,3 cm et le développement de l'épanouissement polaire de 20 cm.

Le poids total du volant, sans l'arbre, est de 35 000 kilogrammes.

Tableau de distribution. — Le tableau de distribution comporte un interrupteur tripolaire à rupture brusque et 3 coupe-circuits. La rupture se fait en 4 points et les fils fusibles se tronvent isolés du circuit lorsque l'interrupteur est ouvert ; on peut ainsi les remplacer rapidement en cas d'accident sans qu'il soit nécessaire d'arrêter la machine.

La tension est lue seulement entre deux fils, à l'aide d'un voltmètre statique. Deux ampèremètres de 300 ampères sont branchés en série sur deux des conducteurs, le troisième conducteur ne comporte aucun appareil de mesure.

Le voltmètre et l'ampèremètre du circuit d'excitation sont placés à la partie supérieure du tableau.

L'interrupteur tripolaire, protégé par une plaque de verre, et les appareils de mesure ainsi que le cadran du rhéostat sont placés sur la partie antérieure du tableau, sur la partie arrière duquel sont montés les plombs fusibles.

L'arrière du tableau est entouré de panneaux en bois masquant les rhéostats et les connexions ; les fusibles sont formés de fils d'argent réunis en parallèle.

Résultats d'essais. — Nous reproduisons sur la figure 11 les caractéristiques à vide et en court-circuit en fonction du nombre d'empèretours par bobine inductrice.

La droite la plus inclinée représente la correspondance des ampéretours avec le courant d'excitation total.

On voit que le courant d'excitation pour la marche à vide est de 54 ampères et que l'intensité normale de 210 ampères est obtenue, en court-circuit, avec 15 ampères seulement d'excitation, ce qui correspond à un peu plus du quart de la tension à vide.

J. Reyval.

ACCUMULATEURS DE LA SOCIÉTÉ POUR LE TRAVAIL ÉLECTRIQUE DES MÉTAUX

De toutes les expositions d'accumulateurs, il n'en est pas qui offrent plus de variétés que celle de cette Société.

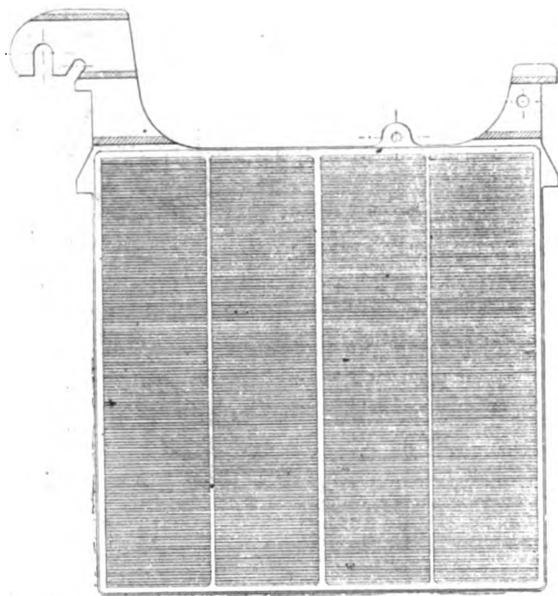
Nous ne voulons pas parler ici seulement des différentes grandeurs de plaques ; mais bien plutôt des différentes constitutions de celles-ci. La Société pour le travail électrique des métaux expose en effet des plaques de tous les principes et à toutes ces plaques qu'elle construit et qu'elle livre couramment, elle assigne des propriétés spéciales qui les font préférer dans tel ou tel cas particulier.

C'est là une excellente voie dans laquelle on ne saurait trop engager les constructeurs d'accumulateurs, un type unique de plaques ne pouvant pas être universel et ne pouvant répondre à la fois aux besoins multiples actuels.

Plaques. — Parmi les plaques positives, nous trouvons dans cette exposition les trois types principaux : Faure, Planté et le type mixte Faure-Planté.

Le type Faure est représenté :

1° Par la plaque à augets qui est constituée d'un quadrillage à âme munie de chaque côté d'augets inclinés (voir fig. 2) et assez rapprochés. La figure 1 donne une vue de la



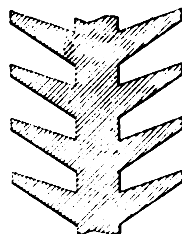


Fig. 1 et 2. — Plaque à augets.

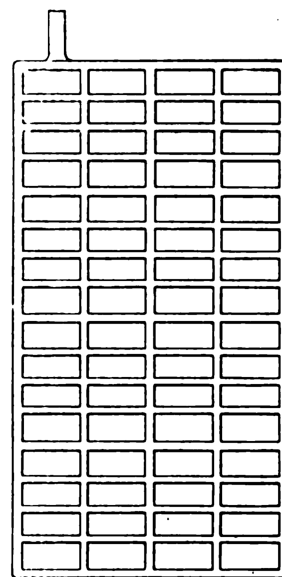


Fig. 3. — Plaque à pastilles.

plaque en élévation. On y remarque à la partie supérieure 2 talons de suspension qui sont venus de coulée. Selon les cas, l'un ou l'autre de ces talons est utilisé et le talon inutile est coupé. Ce quadrillage coulé sous pression en plomb antimonieux non formable est empâté par un procédé spécial qui assure à la matière active une longue adhérence au support. Le quadrillage, par sa constitution, dure très longtemps sans présenter de déformations et peut être réempâté un grand nombre de fois. En faisant varier l'épaisseur du plomb on obtient des plaques de capacité spécifique plus ou moins grande. En même temps, le rapport entre la matière active et le poids total de la plaque varie de 22 à 15 p. 100;

2° Par la plaque à pastilles connue depuis très longtemps et qui se compose, comme on sait, de pastilles coulées d'un mélange de chlorure de plomb et de chlorure de zinc; ces pastilles sont disposées dans un moule dans lequel on coule du plomb antimonieux qui forme un quadrillage sertissant toutes les pastilles. Les plaques sont ensuite réduites à l'état de plomb spongieux par le zinc; puis transformées en plaques positives par peroxydation par le courant.

En augmentant ou diminuant l'épaisseur des plaques et en faisant varier la proportion de matière active par rapport au poids total de la plaque de 50 à 27 p. 100, on obtient des capacités spécifiques très variables. On a représenté en figure 3 la plaque à pastilles employée dans les éléments légers pour automobiles.

3° Par la plaque à grille créée récemment en vue des très grandes capacités et qui se

compose d'un quadrillage en plomb antimonieux obtenu par coulée et présentant la forme indiquée par le dessin (fig. 4). Ce quadrillage très léger est empâté de matière active. On verra plus loin quelles capacités peuvent être obtenues avec ce genre de plaques. Le rapport entre les poids de matière active et total de plaque est de 64 p. 100, environ.

Le type Planté est représenté par la plaque à grande surface composée d'un très grand nombre de bandes minces en plomb doux, ondulées, réunies de chaque côté par des montants verticaux obtenus par coulée et qui constituent le cadre.

Nous n'insistons pas ici sur cette description qui a déjà été faite récemment dans ce journal [1]. Le rapport entre la surface active de la plaque et la surface totale apparente est de 6,2 environ pour la plaque de 8 mm épaisseur.

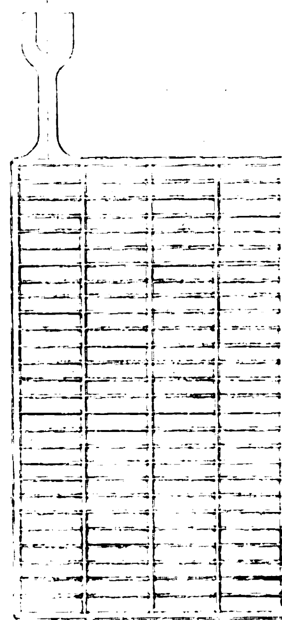


Fig. 4. — Plaque à grille.

Comme type de plaque du système mixte Faure-Planté, nous trouvons une plaque constituée d'un quadrillage à augets inclinés, mais ne comportant pas d'âme et coulé entièrement en plomb doux. Cette plaque empâtée par les procédés de la Société, travaille au début comme une plaque Faure et le quadrillage ne se forme peu à peu qu'au fur et à mesure de la chute de la matière active, de telle sorte que la capacité de la plaque reste sensiblement constante pendant toute la durée de celle-ci. Le gondolement de la plaque qui, comme on le sait, est un grave écueil des plaques en plomb doux a été complètement évité ici et la seule déformation qui a été prévue et qu'on laisse libre de se produire est un allongement de la plaque dans le sens horizontal. A cet effet, la plaque est suspendue par son milieu à une traverse horizontale en plomb antimonieux qui porte la prise de courant et les deux talons de suspension. Le rapport entre le poids de matière empâtée et le poids de la plaque est de 28 p. 100 environ.

Les plaques négatives universellement connues sont presque toutes du type à pastilles obtenues par la réduction du chlorure de plomb coulé qui donne, comme on sait, un plomb spongieux dans un état cristallin tout particulier et d'une porosité remarquable. Ces plaques négatives peuvent être faites de capacité spécifique plus ou moins grande en faisant varier les proportions relatives de matière active et de quadrillage. Le rapport de la matière active au poids de la plaque varie de 23 à 44 p. 100. Les plaques ultra-légères, du type à grille semblables aux positives décrites plus haut, sont empâtées.

Éléments. — Un choix judicieux de ces différentes plaques permet de répondre à tous les besoins. Ne pouvant mentionner ici tous ceux-ci, nous nous contenterons de décrire quelques éléments principaux :

Éléments à poste fixe. — Les plaques positives sont du type à augets et les négatives du type à pastilles. Dans le cas de petits éléments pour installations particulières, on emploie des bacs en verre ; les gros éléments de station centrale ont des bacs en bois doublé de plomb. Pour le montage, les plaques sont suspendues par des talons qu'elles portent à la partie supérieure sur des dalles de verre légèrement inclinées, reposant sur le fond du bac par l'intermédiaire de semelles soit en caoutchouc (bacs en verre) soit en plomb (bacs en bois plombé) et écartées du bac à la partie supérieure par des cavaliers en ébonite.

L'écartement des plaques est obtenu à l'aide de tubes de verre maintenus en haut entre

[1] *L'Éclairage Électrique*, t. XXII, p. 130, 27 janvier 1900.

...

deux entretoises en verre réunies par des cavaliers en plomb. Les plaques de même polarité sont réunies par des boulons.

Le tableau suivant résume les valeurs caractéristiques de ce genre d'éléments.

		Petit élément.	Gros élément.
Nature du bac		verre	bois doublé de plomb.
Dimensions extérieures du bac	haut. en mm.	325	623
	long. »	270	455
	larg. »	240	544
Nombre de plaques		6 + et 7 —	8 + et 9 —
Dimensions des plaques	haut. en mm.	210	410
	larg. »	210	410
	épaiss. »	8 (+) 6 (-)	8 (+) et 6 (—)
Poids des plaques positives, en kg.		18,9	100
» négatives, »		11,9	58
Poids total d'électrodes, »		30,8	158
» de l'élément, »		60	321
Capacités aux différents régimes	10 heures	240 amp.-h. à 24 amp.	1 280 amp.-h. à 128 amp.
	6 »	216 » à 36 »	1 152 » à 192 »
	3 »	180 » à 60 »	960 » à 320 »
	1 »	150 » à 150 »	800 » à 800 »

2° *Éléments de traction.* — D'après les capacités spécifiques que l'on veut obtenir, on emploie soit des positives à grande surface et négatives à pastilles, soit positives et négatives à pastilles, soit encore positives et négatives à grille, les premiers éléments étant les plus robustes mais aussi ceux donnant la moins grande capacité spécifique. Ces trois catégories d'éléments sont désignées plus bas par éléments ordinaires, légers et ultra-légers.

Les bacs employés dans ces différents cas sont en ébonite ; des tasseaux spéciaux supportent les plaques qui sont réunies à la partie supérieure par des barrettes en plomb portant les prises de courant, ainsi qu'il a été précédemment décrit ici [1].

Principales constantes de ces éléments :

		Élément ordinaire.	Élément léger.	Élément ultra-léger.
Dimensions extérieures du bac	haut. en mm.	265	270	265
	long. »	149	192	167
	larg. »	137	126	137
Nombre de plaques		6 + et 7 —	9 + et 10 —	9 + et 10 —
Dimensions des plaques	haut. en mm.	205	210	208
	larg. »	124	110	124
	épaiss. »	8 (+) 4 (—)	5 (+) 4 (—)	3,5 (+ et —)
Poids des plaques positives, en kg.		7,02	5,89	5,22
» négatives, »		3,85	5,20	5,30
Poids total d'électrodes, en kg.		10,87	11,09	10,52
» de l'élément, »		16,11	16,92	16,70
Capacités aux différents régimes	8 heures.	138 amp.-h. à 17 amp.	217 amp.-h. à 27 amp.	262 amp.-h. à 32 amp.
	6 »	131 » à 22 »	200 » à 33 »	246 » à 41 »
	4 »	120 » à 30 »	179 » à 45 »	221 » à 55 »
	2 »	100 » à 50 »	143 » à 71	

3° *Éléments pour éclairage des trains.* — Un élément assez couramment employé pour cet usage se compose de plaques positives du type Faure-Planté et de négatives à pastilles. Les plaques montées dans un bac en ébonite sont suspendues à leur partie supérieure par des talons reposant sur des châssis en ébonite qui sont rainés de façon à maintenir l'écar-

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. XVII, p. 545, 31 décembre 1898.

tement entre positives et négatives. Les plaques de même polarité sont reliées entre elles par une barrette en plomb antimonieux qui porte la prise de courant. Pour empêcher les projections de liquide, le bac est très élevé et est fermé par un couvercle en caoutchouc souple.

Les constantes d'un élément courant sont les suivantes :

Dimensions extérieures du bac.	hauteur en mm.	313
	longueur »	183
	largeur »	131
Nombre de plaques		6 + et 7 —
Dimensions des plaques	hauteur en mm.	210
	largeur »	110
	épaisseur »	7 (+) 6 (-)
Poids des plaques positives (barrettes et prises de courant comprises), en kg.		7,83
» négatives » » »		6,38
» total d'électrodes » » »		14,21
» » de l'élément » » »		21,28
Capacités aux différents régimes.	20 heures	136 amp.-h. à 6.8 amp.
	10 »	126 » à 12,6 »

4° *Éléments pour allumage des moteurs de voitures automobiles* (1). — Les plaques de ces éléments sont des plaques du type à pastilles, positives et négatives. Les bacs employés sont à volonté en ébonite ou en celluloïd. Les chiffres donnés dans le tableau suivant se rapportent à ce dernier cas, les plaques étant suspendues à leur partie supérieure.

Dimensions extérieures du bac.	hauteur en mm.	193
	longueur »	67
	largeur »	127
Nombre de plaques		3 + et 4 —
Dimensions des plaques	hauteur en mm.	135
	largeur »	112
	épaisseur »	5 (+) 4 (—)
Poids des plaques positives, en kg		1,29
» négatives, »		1,36
» total d'électrodes »		2,65
» » de l'élément. »		3,90
Capacité, en amp.-h. »		58

La Société pour le travail électrique des métaux construit aussi de nombreux éléments pour usages plus spéciaux, ainsi qu'on peut s'en rendre compte en parcourant son exposition ; notons seulement ici des éléments à charge rapide pour tramways, des éléments pour laboratoires, pour batteries-tampon, etc.

LOCOMOTIVE POUR VOIE NORMALE DE LA A. E. G. (2).

La locomotive construite par l'Allgemeine Elektricitets-Gesellchaft peut servir à la traction des trains de voyageurs et de marchandises, tout comme elle peut trouver son emploi dans les manœuvres et le triage, et c'est à cette hypothèse que se rattache toute la description qui suit.

Elle est construite pour la voie normale et elle est exactement symétrique (fig. 1) ; elle est à deux essieux mus chacun par un moteur.

(1) En fonctionnement à l'annexe de Vincennes, classe 20.

(2) Exposée dans la cour qui précède le Palais de l'Électricité. Côté Suffren.

La locomotive peut remorquer un train de 300 tonnes à la vitesse de 30 km à l'heure, en palier. Le poids adhérent, égal au poids total, est de 24 tonnes ; au démarrage, l'effort maximum à la jante de la roue est de 3600 kg. La machine est tout en fer et acier, sauf le toit, le plancher et les revêtements intérieurs de la cabine du mécanicien.

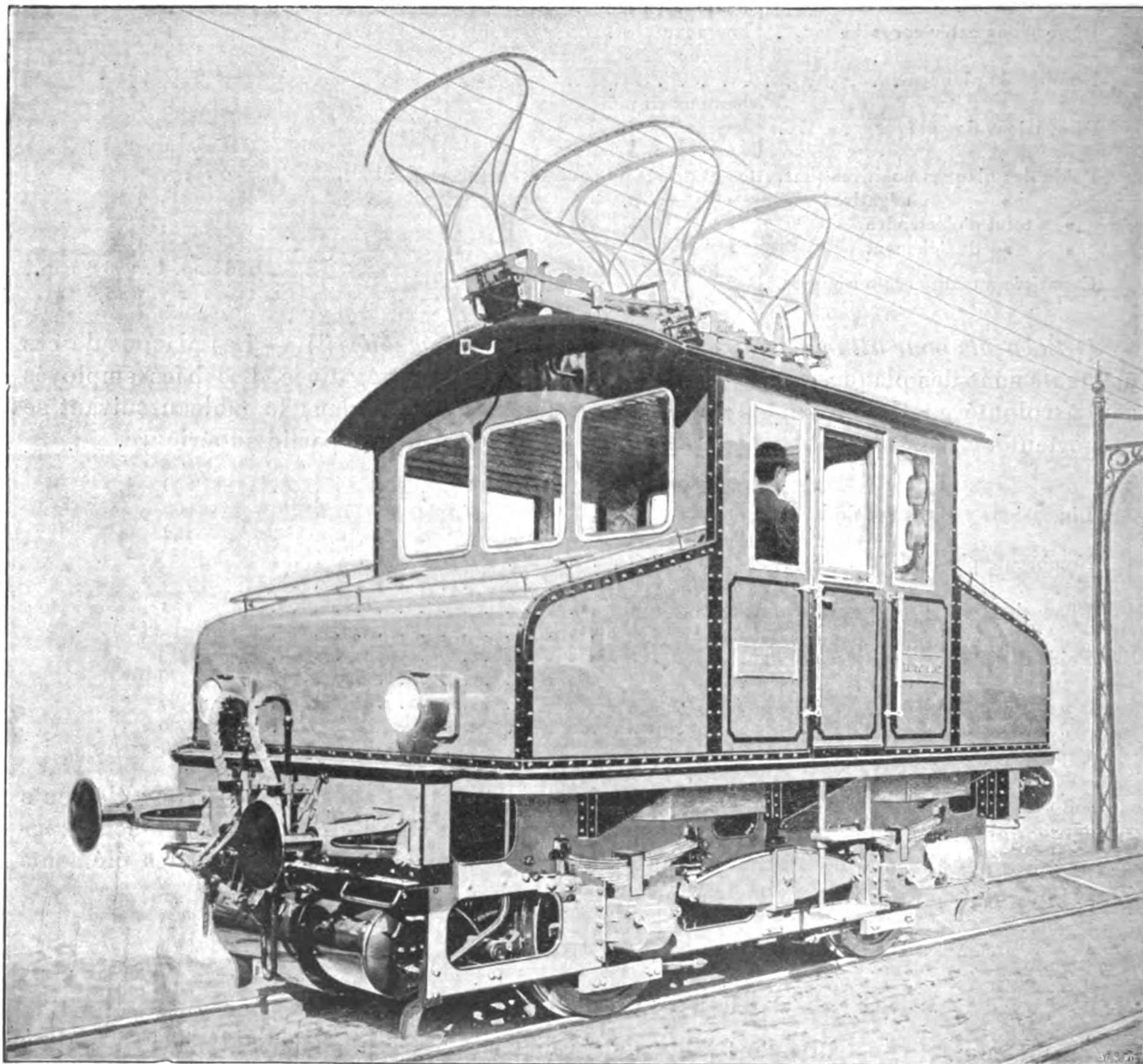


Fig. 1. — Vue de la locomotive pour voie normale de l'A. E. G.

Châssis. — Le châssis (fig. 2 à 4) se compose essentiellement de deux longerons en tôles de 23 mm d'épaisseur, réunis par des entretoises et cornières, ayant une forme d'U ; ils supportent les traverses d'avant et d'arrière ainsi que les chasse-pierres. Ceux-ci arrivent jusqu'à 60 mm du bord supérieur du rail, pour la distance normale de 1,04 m entre les tampons.

Pour atteler la locomotive au train, on se sert d'un crochet avec accouplement de

sûreté. Au-dessous de chaque tampon se trouvent des étriers où se placent les hommes d'équipe pendant les manœuvres. Pour des raisons de construction, le tige du crochet d'attelage ne peut traverser longitudinalement le châssis ; aussi, chaque crochet est-il fixé aux traverses par un ressort spécial.

Les longerons portent des consoles en tôle, armées par des cornières, qui soutiennent la partie supérieure ; le châssis est recouvert de fortes plaques de tôle lui donnant une rigidité parfaite.

Aux longerons sont fixées des plaques de garde correspondant aux boites à graisse.

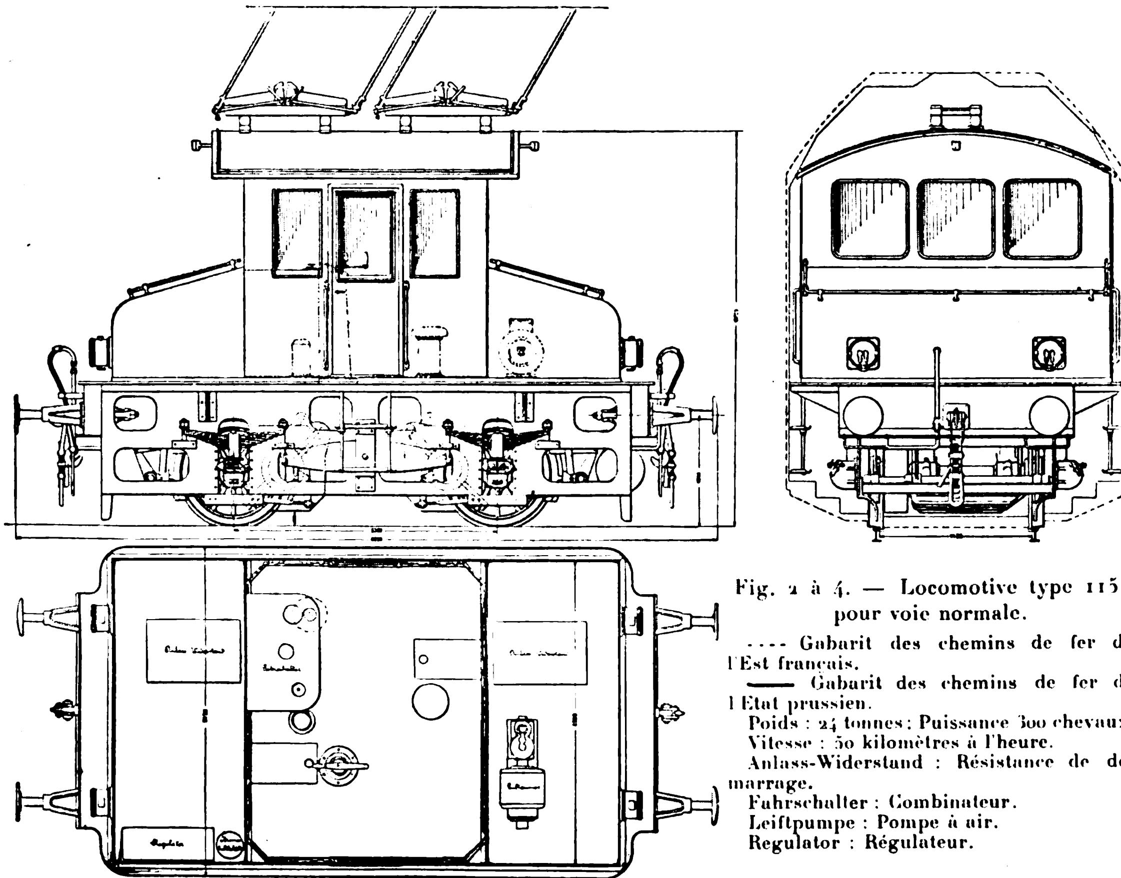


Fig. 2 à 4. — Locomotive type 115, pour voie normale.

---- Gabarit des chemins de fer de l'Est français.

—— Gabarit des chemins de fer de l'Etat prussien.

Poids : 24 tonnes ; Puissance 300 chevaux.
Vitesse : 50 kilomètres à l'heure.
Anlass-Widerstand : Résistance de démarrage.
Fahrschalter : Combinateur.
Leiftpumpe : Pompe à air.
Regulator : Régulateur.

L'empattement est de 2,50 m ; la locomotive peut donc s'inscrire dans des courbes de très petit rayon. Les roues ont 1 m de diamètre au roulement ; elles sont pourvues de bandages d'acier fondu posés à chaud.

Le poids de la locomotive est reporté sur les essieux au moyen de ressorts à lames de 90 mm de large sur 13 d'épaisseur, réunies en leur milieu par un anneau en fer forgé. On a adapté de chaque côté, un balancier longitudinal qui répartit également la charge sur l'un et l'autre ressort.

Il y a deux freins : l'un à vis, à huit sabots, l'autre à air comprimé, système Westinghouse. L'air comprimé nécessaire est fourni par un compresseur mû électriquement : il est emmagasiné dans un réservoir suspendu à une extrémité entre les longerons.

Caisse. — La caisse comprend la cabine du mécanicien, encadrée par deux prismes à toiture oblique. Pour préserver le mécanicien des intempéries, la cabine est fermée de tous

côtés et l'on y a accès par deux portes situées au milieu des cloisons longitudinales, s'ouvrant en dedans et munies de fenêtres ; dans les parois de front de la cabine, on a ménagé trois grandes fenêtres et deux dans les parois longitudinales.

Comme la cabine du mécanicien a une largeur extérieure de 2,90 m, on peut, de l'intérieur, inspecter complètement le train : la forme inclinée de la caisse, à l'avant et à l'arrière, permet de voir facilement la voie.

L'appareil de manœuvre du frein est situé dans la cabine ; il est supporté par une colonne de fonte et permet le serrage simultané des huits sabots. Tout près de cette colonne, se trouve la commande de la boîte à sable. Pour les signaux, un sifflet mû par l'air comprimé est placé au-dessus du toit de la locomotive. L'air est pris dans le réservoir dont il a été question plus haut. Le plancher est muni de trappes par lesquelles on peut accéder facilement aux divers organes des moteurs, etc., qui ont besoin de graissage,

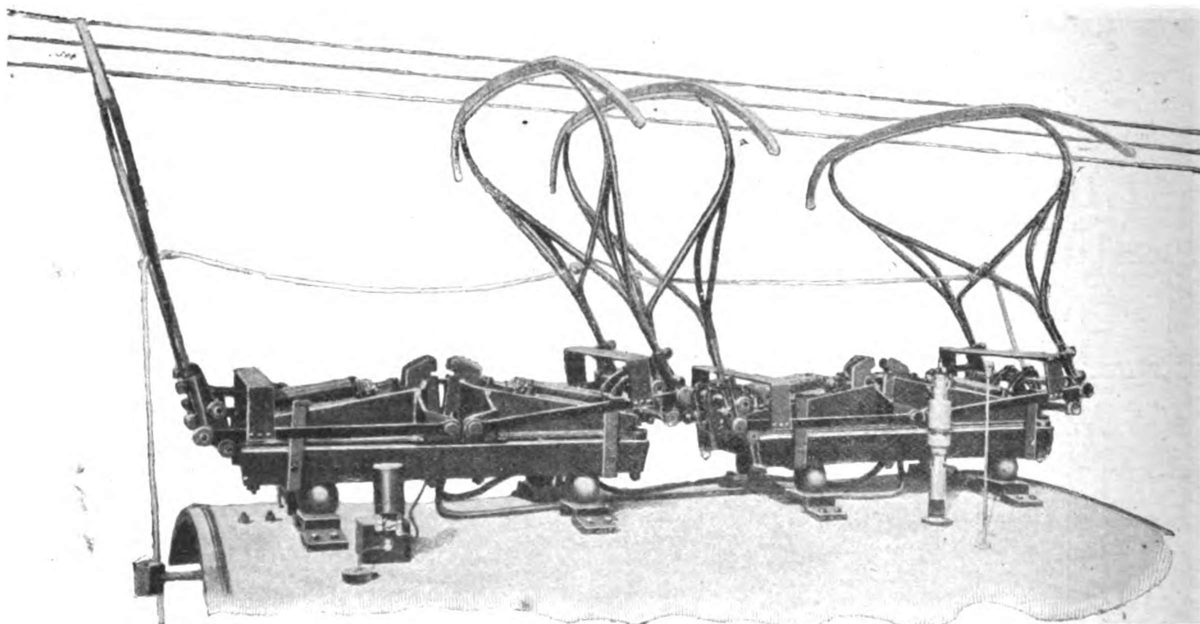


Fig. 5. — Archets de prise de courant.

Appareillage électrique.— Pour fournir l'énergie électrique à la machine, on se sert d'un fil aérien. La prise de courant se fait par 4 archets (fig. 5), situés sur le toit et de construction particulière ; ils sont maintenus en contact avec le fil aérien, à l'aide de ressorts, et lorsqu'on change le sens de marche, ils prennent automatiquement la position convenable.

On a dû renoncer à employer un trôlet ordinaire à cause de la fréquence des changements de marche.

La prise de courant par troisième rail, si précieuse pour les grandes lignes, ne peut être utilisée parce que l'isolation est très difficile et qu'un contact entre le troisième rail et la voie courante n'est pas sans danger. Il y aurait du reste, toujours interruption aux changements, croisements et traversées de voies.

Pour avoir le plus grand nombre possible de points de contact entre le conducteur et l'appareil de prise de courant, il faut composer ce conducteur de plusieurs fils parallèles de 8 mm de diamètre tendus à peu de distance l'un de l'autre. Les conducteurs sont accrochés

à des isolateurs, de telle sorte que leur hauteur minima, au-dessus des rails soit de 4,90 m. Le retour du courant se fait par les rails.

La locomotive a deux moteurs du type V. B. 800. Les moteurs, d'un côté, reposent directement sur les essieux ; de l'autre, ils sont attachés, par l'intermédiaire de ressorts, à la partie inférieure du châssis, de telle façon que le huitième du poids du moteur repose sur l'essieu.



Fig. 6. — Vue de la cabine du mécanicien.

La transmission du mouvement aux essieux se fait au moyen d'une paire de roues d'engrenages dont le rapport est 1 : 3. Le pignon est en bronze phosphoré ; la roue, montée sur l'essieu, est en acier fondu. Pour protéger les engrenages contre le sable et les poussières, ainsi que pour permettre un graissage suffisant, ils sont enfermés dans un carter en tôle.

Les moteurs sont excités en dérivation ; l'inducteur est en acier coulé et sert d'enveloppe en même temps qu'il porte le poids de l'induit et de l'arbre. Cette enveloppe est construite en deux parties ; le collecteur et les balais ont des portes de *visite* spéciales.

Les réparations peuvent, d'ailleurs, être faites par un personnel peu au courant. On retire les moteurs par le bas, sans ôter la partie supérieure et sans soulever la locomotive.

Le nombre de tours des moteurs est de 800 environ par minute sous une tension de 500 volts. — Les induits sont dentés.

Le contrôleur est construit pour la marche avant ou arrière ; il y a deux manivelles : au moyen du combinateur, on règle la vitesse, un commutateur commande le sens du courant.

Comme d'ordinaire ce commutateur peut supprimer tout à fait le courant, il ne peut être manœuvré que lorsque le combinateur est à la position « halte ». Quant au combinateur, il faut, pour qu'on puisse s'en servir, que le commutateur soit exactement sur la position « en avant » ou « en arrière ».

Les différentes vitesses sont obtenues par les groupements des moteurs (série parallèle) et aussi par les variations du champ magnétique.

Les résistances sont partagées par moitié et disposées dans les caisses d'avant et d'arrière.

La puissance totale que peuvent développer les deux moteurs est de 300 chevaux et le courant employé est de 550 ampères sous 500 volts.

Le compresseur se trouve dans une des caisses obliques. Il est à deux cylindres : l'un à haute pression et l'autre à basse pression. Il comprime l'air à une pression de 6 atmosphères ; aussitôt que cette pression est obtenue dans le réservoir principal, le moteur s'arrête automatiquement et si, au contraire, la pression tombe à 5,5 atmosphères, il se remet de lui-même en marche.

Afin de rendre possible l'emploi de la locomotive sur des voies au-dessus desquelles on pourrait pas placer de conducteurs, on a adapté aux deux extrémités de la machine des boîtes de prise de courant au moyen desquelles la locomotive peut être reliée à une batterie d'accumulateurs portée par un tender spécial. Le courant électrique se prend sur la batterie par un accouplement analogue à celui du frein à air comprimé.

Dans les quatre coins de la cabine du mécanicien (fig. 6) se trouvent les divers instruments : voltmètre, ampèremètre, leviers, manomètres du frein à air comprimé. Ces appareils sont montés sur des tableaux.

L'appareillage électrique de la locomotive comprend en outre :

1° Des plombs fusibles pour garantir les moteurs et les câbles des surcharges nuisibles ; ils sont placés dans les caisses obliques.

2° Un parafoudre avec extincteur automatique dont on a proscrit tout organe sujet a se rouiller ; il est placé sur le toit de la cabine du mécanicien.

3° L'éclairage électrique complet et les différents coupe-circuits et appareils de sûreté.

L'éclairage de la locomotive se fait par 10 lampes à incandescence en deux séries de 5.

Les 4 lanternes de signal, placées au-dessus des 4 tampons, sont pourvues de deux lampes chacune et la cabine est éclairée par deux lampes. Les deux lampes de chaque lanterne font partie chacune d'une dérivation différente : il en est de même des lampes de la cabine de sorte que l'éclairage serait suffisant en cas d'accident à une des dérivations.

D'après les expériences faites par l'Inspecteur en chef des Chemins de fer royaux, M. Loch, à Gleiwitz, avec une locomative électrique de la A. E. G., le travail dans les gares pour la manœuvre et le triage revient à 40 p. 100 meilleur marché que par la traction à la vapeur [1].

J. REYVAL.

---

[1] Dans une étude parue dans les *Annales de Glaser pour les usines et les bâtiments* (fascicule 10 du 15 mai 1900, p. 203 et suiv.) nous relevons les renseignements complémentaires qui suivent :

La locomotive électrique dont il est question est du type général de celle que nous venons de décrire, sauf les

APPAREIL POUR LA MESURE DE L'INTENSITÉ
DES CHAMPS MAGNÉTIQUES

J'ai étudié, pour la mesure de l'intensité des champs magnétiques, un appareil simple, qui à l'usage s'est montré d'un emploi rapide et commode. Il convient particulièrement à

---

points de détails suivants : le diamètre des roues est de 1,100 m ; l'empattement est de 2,280 m et la longueur totale entre tampons, de 5,300 m ; la largeur maxima atteint 2,280 et la hauteur jusqu'au pied de l'appareil de prise de courant, 3,217 m. Cette locomotive pèse 9,15 tonnes. La traction se fait à l'aide d'un seul électromoteur V. N. B. 125 dont le mouvement est transmis aux essieux par l'intermédiaire d'un double train d'engrenages ayant respectivement comme coefficients de réduction 1/5 et 1/4,5. L'arbre du dernier train est porté sans ressorts intermédiaires, par le châssis de la locomotive, au dessus des essieux. L'électromoteur prend appui d'un côté, à l'aide de deux paliers sur cet arbre, et de l'autre, est suspendu par l'intermédiaire de ressorts à une entretoise du châssis.

On avait, dans les premiers essais, construit en aluminium la partie de l'archet qui frotte sur le fil aérien en vue de diminuer autant que possible l'usure de ce dernier. On a reconnu que l'aluminium lui-même s'usait si vite qu'il devait être renouvelé après un très court service. Aussi, aujourd'hui, remplace-t-on le frotteur d'aluminium, par un fil d'acier qui s'est bien comporté.

Le marché stipulait que la locomotive devait pouvoir remorquer en palier un train de 100 tonnes à la vitesse de 1 mètre par seconde et que le moteur devait se plier à des vitesses variables entre 0,75 m et 2,000 m par seconde. C'est là le premier exemple de l'obtention, avec un seul moteur, de limites aussi éloignées de vitesses.

Le courant d'alimentation partait du tableau de l'usine génératrice sous une tension de 220 volts ; et on reliait à la voie un des conducteurs extérieurs du système à 3 fils.

La locomotive qu'a construit l'A. E. G. a rempli toutes les conditions espérées. Aux différents parcours d'essai, on a relevé les consommations suivantes de courant :

I. Locomotive ne traînant pas de train :
Au démarrage . . . . 20 ampères sous 210 volts
En marche de régime à la plus grande vitesse . . . . . . 22 à 24 » » 210 »
II. Locomotive poussant et traînant 12 wagons = 78,76 tonnes :
Au démarrage . . . . 70 à 60 ampères sous 200 volts
En marche de régime à la plus grande vitesse . . . . . . 40 à 35 » » 200 »
III. Locomotive traînant un train de 16 wagons = 106,66 tonnes :
Au démarrage. . . . . 75 à 70 ampères sous 195-200 volts
En marche de régime. . . . . 43 à 50 » » 200 »
La plus grande vitesse atteinte est de :
Marche à vide. . . . . 2,14 par seconde
Marche à pleine charge . . . . 1,04 »

En service et, en particulier, lorsqu'on augmenta le parcours de la locomotive, la vitesse primitivement fixée fut reconnue insuffisante. Le montage du moteur ne permettant pas d'élargir les limites de vitesse, on dut se contenter de remonter la limite inférieure comme la limite supérieure.

L'A. E. G. a, pour cela, disposé un survolteur sur la ligne d'alimentation de la locomotive, de manière à augmenter la tension de 220 à 330 volts, ce qui a bien réussi.

Dans les parcours d'essai, on a relevé les consommations de courant suivantes :

I. Locomotive ne traînant pas de train :
Au démarrage. . . . . 55,50 ampères sous 210 volts.
En marche de régime à la plus grande vitesse. . . . . . 20,19 » » 315-310 »
II. Locomotive traînant une rame de 8 wagons = 46,8 tonnes :
Au démarrage. . . . . 60,50 ampères sous 300 volts.
En marche de régime à la plus grande vitesse. . . . . . 30,25 » » 310 »
III. Locomotive traînant une rame de 12 wagons :
Au démarrage. . . . . 60,40 ampères sous 310 volts.
En marche de régime à la plus grande vitesse . . . . . 26,28 » » 310 »
IV. Locomotive poussant et traînant 18 wagons = 106 tonnes :
Au démarrage. . . . . 80,60 ampères sous 300 volts.
En marche de régime à la plus grande vitesse . . . . . 28,35 » » 300-294 volts.
Les plus grandes vitesses ont été :

la détermination, en unités CGS, du champ des électro-aimants de laboratoire, ou du champ créé par des aimants permanents, alors même que l'entrefer est étroit ; il permet

---

Locomotive seule	3,38	par seconde.
Avec une charge de 25,30 tonnes	2,80	»
» 46,08 »	2,55	»
» 106 »	1,09	»

Le prix fixé au marché de la locomotive électrique était de 10 000 fr.; celui du réseau d'alimentation 17 500 fr., soit en tout 27 500 fr. Dans la première offre, on avait indiqué un poids de 6 tonnes; mais la locomotive pèse 9,15 tonnes; de sorte qu'on doit admettre pour prix véritable de la locomotive la somme de 12 500 fr.

Si le conducteur d'alimentation est posé au-dessus de la totalité des voies des ateliers, il faut encore ajouter 9 375 fr., de sorte qu'on doit compter comme capital de premier établissement :

$$12\,50 + 17\,500 + 9\,375 = 39\,375 \text{ fr.}$$

Pour le service de la locomotive électrique, il faut prévoir :

Salaire, loyers, augmentation des bâtiments pour former la remise de ladite locomotive :

Par an : $1\,600 + 225 + 100 =$	1 925 fr.
Soit par jour : $\frac{1\,925}{300}$	6,42
et ajouter le salaire d'un manœuvre pour atteler les wagons	3,00
Au total fr.	9,42

La locomotive est en service environ 8 heures par jour. Si on tient compte des nombreux temps d'arrêt on peut supposer que les consommations moyennes de courant ne dépassent pas 16 ampères.

Cela fait par jour $\frac{8 \times 16 \times 330}{1\,000} = 42,24$ kilowatts-heure à 0,137 fr =	5,81 fr
Pour les réparations, on a dépensé dans le trimestre de décembre à février, environ	9,38
Pour les graissages et les chiffons	13,76
	23,10

Comptons toutefois pour les réparations annuellement 4 p. 100 du capital de premier établissement, soit :

$0,04 \times 39\,375$	1 575,00
et pour le graissage et les chiffons	125,00
Au total	1 700,00
Cela fait par jour : $\frac{1700}{300} =$	5,67
Par suite, le service de la locomotive électrique coûte par jour : $9,42 + 5,81 + 5,67 =$	20,90
L'amortissement : 5 p. 100 du capital de premier établissement, soit une somme de : $\frac{0,05 \times 39\,375}{300}$	6,85

Une locomotive à vapeur de 31 tonnes coûterait environ 43 750 fr.

Pour le service de cette machine il faut compter :

Salaires, loyer pour un mécanicien : $1\,750 + 225 =$	1 975
» pour un chauffeur : $1\,375 + 225 =$	1 600
Total fr.	3 375
Soit par jour : $\frac{3\,375}{300}$	11,92

De plus : supplément pour le triage et prime pour le mécanicien, par jour :

8 heures à 0,15625	1,25
Et pour le chauffeur : 8 heures à 0,11	0,88
Total	2,13

Il faut encore ajouter le salaire du manœuvre pour atteler les wagons : par jour, fr. . . . 3

Les frais de matière pour une journée de 8 heures se décomposent en :

Charbon $150 + 8 + 40 = 470$ kg à 0,01125	5,30
Graissage et chiffons, environ 6 kg à 0,50	3,00
En tout	8,30

d'étudier rapidement un champ qui n'est pas uniforme. Il peut être appliqué à la construction de divers instruments de mesure, et il se prête, comme on le verra, à diverses manipulations fort instructives.

Je préviendrai tout d'abord que, sous sa forme actuelle, l'appareil est destiné seulement à l'étude de champs magnétiques dont les lignes de force, dans la région examinée, ont une direction voisine de l'horizontale : cette condition est remplie par presque tous les instruments de laboratoire.

I. Principe de l'appareil. — Les appareils employés pour la mesure directe, *en valeur absolue*, des champs magnétiques, se rattachent à deux méthodes distinctes.

Dans la première méthode, on utilise un phénomène d'induction produit par le déplacement dans le champ d'un conducteur mobile. On mesure alors, soit la quantité d'électricité mise en mouvement lors du déplacement (emploi d'une bobine retournée dans le champ, ou tirée hors du champ, et d'un galvanomètre balistique) ; soit la forme électromotrice correspondante à une vitesse connue d'une portion de conducteur (appareil à écoulement d'eau de M. Bouty, récemment décrit ici même) (1).

Dans la seconde méthode, on mesure l'action mécanique exercée par le champ sur un circuit mobile parcouru par un courant connu. Cette seconde méthode exige seulement, comme instrument de mesure électrique, un ampèremètre étalonné : c'est là un avantage, puisque le champ est souvent créé lui-même par un courant dont il faut connaître la valeur.

Dans les appareils de Stenger et de Knut Angström (2), une bobine dont l'axe est perpendiculaire aux lignes de force, tend à se renverser par l'action de celui-ci. On mesure le couple qui l'entraîne avec un bifilaire (Stenger) ou avec une *balance* (K. Angström). Ce couple a un bras de levier qui est au plus égal au diamètre de la bobine ; en outre, l'appareil ne s'applique pas aux entrefers très étroits.

Dans d'autres appareils, on a cherché à réaliser un *élément de courant*. M. Leduc, M. Houllevigue, puis M. Miot dans son *inductomètre*, se sont servis du galvanomètre à mercure de M. Lippmann (3). D'autre part, M. Eric Gérard a construit, en 1886, un *mesureur*

Pour les réparations, d'après les résultats de l'exercice 1898-1899, il faut compter pour la locomotive et annuellement, environ 0,066 du capital de premier établissement :

Soit : $0{,}0066 \times 13.750 = 887{,}50$

Soit par jour : $\frac{2\ 887{,}50}{300} =$ 9,65

En résumé, le service d'une locomotive à vapeur pour la traction dans l'atelier principal, coûte par jour, environ :

$11{,}92 + 2{,}13 + 3 + 8{,}30 + 9{,}65 =$ 35,00

L'amortissement du capital de premier établissement doit être compté au taux de 7 p. 100 pour une locomotive à vapeur, et de ce fait, s'ajoute au compte précédent une charge journalière de

$\frac{0{,}07 \times 43\ 750}{300} =$ 10,30

Si maintenant, on voulait remplacer le travail de la locomotive par celui des hommes, il faudrait au moins disposer de 12 manœuvres et d'un chef d'équipe. Ce qui correspond à un salaire journalier total de $12 + 2{,}75 + 3{,}25 = 36{,}25$.

Le service par locomotives électriques se place donc au premier rang, au point de vue du bon marché.

(1) Bouty, *Écl. Élect.*, t. XV, p. 89, 1898.

(2) Voy. Hospitalier : *Traité élémentaire de l'Energie Electrique*, p. 559.

(3) Leduc, *Journal de Ph.*, t. VI (1887). Houllevigue, *Ann. Ch. et Ph.*, (7), t. VII, p. 516, 1896. Miot : Voy. Armagnat : *Traité des mesures électriques*, p. 528.

— L'élément de courant est alors constitué par du mercure contenu dans une petite caisse plate placée dans le champ : on évalue avec un manomètre la poussée exercée par le mercure parcouru par le courant, sur le fond de la

de champs magnétiques [1] auquel celui que je vais décrire se rattache plus particulièrement.

Il en diffère d'abord en ce que l'action est directement mesurée par une pesée, et surtout par l'emploi d'un artifice particulier qui permet de remplacer un élément de courant mobile par un dispositif équivalent.

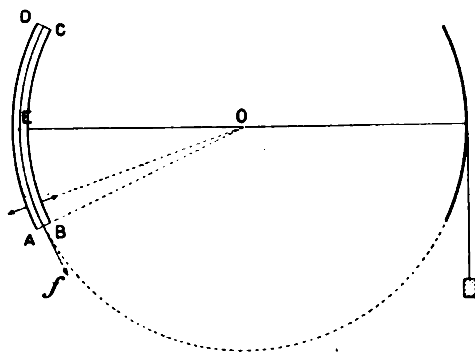


Fig. 1.

Un fléau de balance (fig. 1), mobile en O autour d'un axe horizontal invariable, perpendiculaire au plan de la figure, est muni à l'extrémité E d'un de ses bras d'une sorte de palette, plate et mince, qui porte un circuit rigide ABCD formé d'une ou de plusieurs spires : dans la figure, où ce circuit est figuré en traits pleins, on n'en a imaginé qu'une seule. Nous verrons bientôt comment on réalise un tel circuit, et comment on y amène un courant qui circulera, par exemple, dans le sens CDAB.

Les grands côtés BC et AD ont la forme d'arcs de cercle dont le centre commun est en O ; les côtés rectilignes AB et CD sont dirigés suivant des rayons. Le côté AB est placé dans l'entrefer limité par les pièces polaires de l'électro-aimant ou de l'aimant à étudier : je supposerai que le champ est uniforme dans la région occupée par AB, mais dans cette région seulement [2], et que les lignes de force sont perpendiculaires au plan de la figure [3]. Quant au côté CD, il est placé assez loin pour que le champ qui existe dans la région où il se trouve soit négligeable [4] : c'est en réalité la différence des champs existant en AB et en CD que l'on mesure par ce procédé.

Tout se passe, dans ces conditions, comme si le cadre était remplacé par le côté AB. En effet, les actions exercées sur CD sont négligeables, et quant aux actions exercées sur les côtés curvilignes (qui d'ailleurs se contrebalancent à peu près), ce sont des forces normales à chaque élément. Elles ont donc un bras de levier nul, puisque les normales aux différents éléments de ces arcs rencontrent toutes l'axe O (fig. 1). Si cet axe est bien invariable, ces forces n'auront aucun effet, puisqu'elles ne peuvent faire tourner le fléau autour de O [5].

La force exercée sur le côté AB a seule un moment utile. Le champ étant uniforme, et

---

cuve. C'est l'*épaisseur* de la cuve, qui est nécessairement *plus petite que l'entrefer*, qui intervient au premier chef dans une mesure *absolue*.

[1] Voy. Hospitalier. *Traité élém. de l'Energie Electrique*, p. 555. L'élément de courant est formé par une portion de tige métallique, reliée par des fils souples très courts à des conducteurs fixes par où arrive et sort le courant. La tige forme un bras d'un fléau équilibré : l'action qui s'exerce sur la partie parcourue par le courant est mesurée à l'aide de ressorts préalablement tarés. L'appareil étant équilibré, peut servir à mesurer des champs diversement orientés : mais en revanche les fils souples sont placés dans l'entrefer, ce qui est un inconvénient, et ils ne permettent pas l'emploi de courants intenses.

[2] Cela est nécessaire pour qu'on connaisse rigoureusement le bras de levier de la force mesurée. Si le champ est de révolution autour d'un axe passant par le milieu de AB, le champ mesuré est le champ moyen dans la région occupée par AB.

[3] S'il en était autrement, le champ mesuré serait la composante du champ, parallèle à l'axe de rotation.

[4] Dans le cas contraire, il faudrait d'abord faire la mesure du champ plus faible existant dans cette région : il est naturellement préférable de prendre une palette assez longue pour éviter cette correction.

[5] Cela est vrai, quelles que soient l'intensité et la direction du champ le long de ces arcs. Mais il faut que l'axe O soit bien invariable, sinon les forces agissant sur les côtés curvilignes, qui tendent à produire un glissement de l'appareil, ou une rotation autour d'un axe différent de O, pourraient produire des mouvements qui amèneraient la palette à toucher l'une des pièces polaires.

perpendiculaire au plan de la figure, cette force f, appliquée au milieu de AB a pour bras de levier L, L désignant le rayon de la circonférence moyenne. On est maître du choix de ce bras de levier, ce qui est évidemment un avantage. L'autre extrémité du fléau porte un plateau destiné à recevoir des poids marqués : on conçoit qu'en ajoutant ou en retranchant des poids p, on puisse rétablir l'équilibre du fléau rompu par l'action, dans un sens ou dans l'autre, de la force f. Supposons que les poids que supporte le plateau exercent leur action à l'extrémité d'un bras de levier précisément égal à L, ces poids mesureront directement la force f.

On peut suspendre le plateau à un couteau, mais j'ai trouvé plus commode de le suspendre à un fil très fin s'appuyant sur le pourtour extérieur d'un arc ayant précisément pour rayon la longueur L. L'avantage de cette disposition est qu'on n'a pas besoin de s'occuper de l'horizontalité du fléau : quelle que soit son orientation, les poids mesurent directement la force cherchée [1].

II. Calcul du champ. — De la valeur de la force f, évaluée en grammes, on déduit immédiatement la valeur du champ. Dans un champ uniforme d'intensité $\mathcal{H}$ C.G.S. un élément de courant de longueur l (cm), d'intensité i (ampère), subit une force perpendiculaire au plan du courant et du champ, et dont la valeur est $\frac{\mathcal{H} l i}{10}$ dynes, ou bien

$$f = \frac{\mathcal{H} l i}{10.981} \text{ grammes,}$$

en prenant 981 pour la valeur de l'accélération de la pesanteur [2].

La formule donnant la valeur du champ sera donc

$$\mathcal{H} = \frac{10.981}{l} \cdot \frac{p}{i} = k \frac{p}{i}$$

k étant une constante de l'appareil.

Mesures relatives. — Si on lance dans l'appareil un courant constant (voir § 5), on comparera les champs en comparant les valeurs correspondantes des poids p. On fera ainsi de bonnes mesures relatives, puisque l'opération se réduit alors à une pesée, et que les forces en jeu sont suffisantes pour que cette pesée puisse se faire avec précision. Imaginons par exemple un champ de 10 000 CGS, une longueur l égale à un centimètre seulement, et un courant i de un ampère seulement : la force f dépasse, comme on le voit, un gramme. Or on peut employer un courant plus fort, ou augmenter la longueur utile l en employant un circuit ABCD formé de plusieurs spires.

Mesures absolues. — L'erreur dans une mesure absolue est nécessairement plus grande. On peut négliger complètement l'erreur commise dans la pesée elle-même, celle qui résulterait d'un défaut de construction, d'une indécision sur le bras de levier de la force agissante, vis-à-vis de l'erreur commise dans la détermination de i en ampères et de l en centimètres. L'appareil servant à la mesure du courant peut être étalonné, mais il faut

(1) Si le bras de levier au bout duquel s'exerce l'action du poids p avait une valeur L′ différente de L, on aurait la valeur de f par la relation $fL = pL'$. La détermination du rapport $\frac{L'}{L}$ peut se faire par une mesure directe, ou bien en suspendant au point E un poids connu que l'on équilibre par des poids marqués, placés dans le plateau.

(2) En toute rigueur, c'est la valeur de l'accélération de la pesanteur *au lieu où on opère*, qui intervient dans la formule, et on pourrait imaginer qu'un appareil de ce genre (ou bien un électrodynamomètre-balance), où une action électromagnétique est équilibrée par l'action que la terre exerce sur des masses connues, puisse servir à comparer les diverses valeurs de l'accélération de la pesanteur.

mesurer exactement la longueur l. C'est là qu'intervient la mesure géométrique qui est nécessaire dans tous les procédés de mesure absolue de l'intensité des champs magnétiques. Nous allons voir comment on peut réaliser la construction de l'appareil, et faire cette mesure.

III. Construction du cadre mobile. — On peut employer différents procédés pour réaliser un circuit ayant la forme indiquée. Un moyen commode consiste à découper dans une matière isolante [1] un arc ayant la forme ABCD, et à appliquer soigneusement sur sa tranche une bande de cuivre bien recuit ayant pour largeur l'épaisseur du support isolant (2 à 3 mm), et épaisse de 0,2 mm par exemple (fig. 2). Cette bande est maintenue par des attaches de fil verni.

La mesure de la longueur l se fait alors très facilement : cette longueur est la distance entre les deux côtés curvilignes : il n'est pas nécessaire en effet que le côté AB soit exactement dirigé suivant le rayon, ni même qu'il soit bien rectiligne ; puisque cette partie de l'appareil se trouve dans un champ uniforme, et qu'un élément quelconque de courant équivaut à ses composantes suivant le rayon et un axe perpendiculaire. On mesurera donc simplement, sur l'appareil construit, la distance entre les deux côtés curvilignes, et on retranchera du nombre obtenu l'épaisseur de la bande de cuivre employée. Si la distance est par exemple de 2 cm, un pied à coulisse ordinaire donnant le dixième de millimètre, suffit pour qu'on évalue la longueur l à $\frac{1}{200}$ près. Si la distance est plus courte, et que sa mesure directe ne puisse se faire avec une précision suffisante, on l'évaluera par comparaison avec une bobine étalon plus large, mesurée directement ; cette comparaison se fera en plaçant successivement les deux appareils dans un champ constant et uniforme obtenu avec un électro muni de deux larges pièces polaires suffisamment rapprochées.

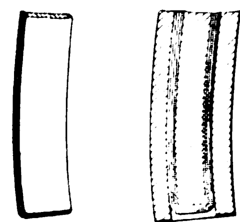


Fig. 2 et 3.

Lorsqu'on veut, pour étudier des champs plus faibles, augmenter la longueur utile l, on forme avec la bande de cuivre et un ruban isolant plusieurs couches successives. D'autre part, si l'entrefer est très étroit, les pièces polaires étant rapprochées à moins de 2 à 3 mm, on peut faire avec un fil fin et isolé une bobine formée de plusieurs spires juxtaposées, appliquées autour d'une joue de forme convenable [2] (fig. 3) sur une lame de verre mince, de carton verni, etc... L'appareil peut être construit de manière à s'adapter le mieux possible à l'étude spéciale que l'on se propose : on détermine sa constante par mesure directe ou par comparaison.

IV. Balance. — Il n'est pas commode d'utiliser un fléau de balance ordinaire, parce que le couteau est ordinairement trop court. L'axe O n'étant pas suffisamment fixé, il arrive que dans certains cas la bobine vient toucher les pièces polaires. On pourrait éviter ces inconvénients en employant des fils horizontaux tendus de façon à s'opposer à ces mouvements : il est

(1) On peut employer diverses matières isolantes. Je me suis servi de l'ivoire, M. Limb m'ayant fait découper des arcs de cette substance. L'ivoire convient très bien, mais il faut, pour éviter des déplacements du zéro gênants, dessécher d'abord à l'étuve à 110°, puis paraffiner ou vernir avec soin cette substance qui est assez fortement hygrométrique. Le verre, le celluloïd ou l'ébonite peuvent rendre des services, ces dernières matières ne se déforment pas sensiblement lorsqu'elles sont ainsi entourées d'une garniture métallique. Une lame de métal entourée d'un ruban de soie ou bien convenablement découpée, peut encore servir. On verra que le magnétisme ou le diamagnétisme des substances employées n'introduit pas d'erreurs dans la mesure, mais il faut, bien entendu, *éviter la présence de matières fortement magnétiques.*

(2) On trace sur cette joue la circonférence moyenne de l'arc ; il est alors facile de centrer l'appareil en le fixant au bout du fléau.

préférable d'employer des pivots quand la sensibilité qu'ils donnent est suffisante, ou mieux un couteau ayant deux points d'appui suffisamment écartés. M. Pellin fait des couteaux échancrés dont les deux extrémités s'engagent dans des encoches qui conviennent très bien. Dans l'appareil qu'il construit, représenté schématiquement figure 4, l'une de ces extrémités seule est visible. Sur cette figure on voit deux arcs d'ivoire placés aux deux extrémités du fléau et dont on peut intervertir la position en retournant ce fléau bout pour bout. Ces deux arcs sont munis, l'un d'une seule bande métallique, l'autre de plusieurs couches superposées; ils correspondent à des valeurs de l très différentes, mais la circonférence moyenne, qui est tracée sur chacun d'eux, a le même rayon pour tous deux.

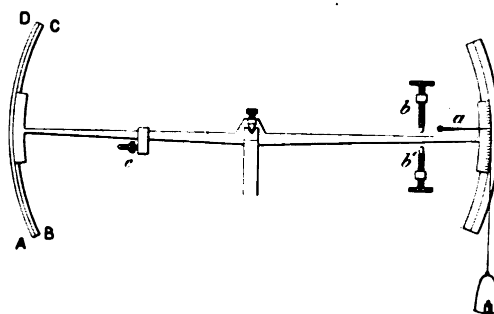


Fig. 4.

Les pinces supportant les bobines ont leur partie fixe terminée en arc ayant le rayon de la circonférence moyenne des bobines qu'il est alors très facile de mettre en place. Cet arc porte sur une face une graduation qui se déplace devant l'aiguille fixe a. Un fil fin s'appuyant sur le pourtour extérieur de l'une des pinces supporte le plateau : il faut que ce plateau renferme à l'avance des poids, car on est conduit à en enlever quand on fait la mesure dans les deux sens du courant. Une surcharge fixée de l'autre côté du fléau, permet d'obtenir l'équilibre : on achève le réglage en agissant sur l'écrou e.

On voit enfin sur la figure des butoirs bb', qui rendent l'emploi de l'appareil bien plus commode. Ils sont d'ailleurs indispensables lorsqu'on a à étudier un champ qui est loin d'être uniforme, car dans ce cas les oscillations pourraient entraîner le fléau assez loin pour que l'équilibre devienne instable.

Il reste à indiquer comment on amène le courant dans un circuit mobile ABCD. Ce circuit est interrompu en un point, les deux extrémités sont reliées, par l'intermédiaire des pinces, d'une part au fléau, d'autre part à un conducteur isolé : de sorte que le courant arrive et sort de l'appareil par deux bornes situées sur le couteau. On peut ainsi placer la partie déformable du circuit dans le prolongement même de l'axe de rotation, ce qui est évidemment la position la plus avantageuse, puisque les déplacements de cette partie de l'appareil sont tout à fait insignifiants.

J'ai employé dans l'appareil de la figure 4 des pointes de platine dont l'extrémité *située sur le prolongement de l'arête* du couteau, enfonce un peu dans du mercure contenu dans de petits tubes isolés. On peut aussi employer des fils souples, ou des bandes de cuivre mince : Tous ces dispositifs, *quand ils sont ainsi placés*, peuvent être employés avec des courants relativement intenses, car il n'est pas nécessaire qu'ils soient très souples.

V. Emploi de l'appareil. 1° *Courant constant.* — On peut utiliser l'appareil de deux façons : le premier procédé consiste à lancer dans le circuit mobile un courant déterminé, et à équilibrer l'action à l'aide de poids marqués.

Il faut prendre la précaution d'établir, au préalable, l'équilibre de la balance *après* avoir excité l'électro-aimant produisant le champ à étudier. Les substances formant la palette qui est introduite dans le champ sont en effet toujours légèrement magnétiques ou diamagnétiques, et alors même qu'il n'y circule aucun courant, on observe une légère attraction ou répulsion.

On commencera donc par établir le champ à étudier ; puis en agissant sur l'écrou de réglage, on amènera le fléau à l'équilibre de façon que la partie AB se trouve dans la région où on veut mesurer le courant. On lance alors le courant : le fléau bascule dans un sens ou dans l'autre, on rétablit l'équilibre en ajoutant ou retranchant des poids p dans le plateau. De la valeur de ces poids et de celle du courant on déduit, comme on l'a vu, la valeur du champ.

On peut, mieux encore, lancer le courant dans AB dans un sens déterminé ; établir l'équilibre de la balance en utilisant, pour terminer, l'écrou de réglage ; puis changer le sens du courant dans la palette, et rétablir avec des poids, l'équilibre de la balance. Les poids qu'il faut ajouter ou retrancher, représentent le double du poids p.

En procédant ainsi par *courant constant*, on peut très souvent, quand on a à mesurer le champ d'un électro-aimant, utiliser le même courant pour l'exciter et pour faire la mesure du champ qu'il produit. Un seul ampèremètre est alors nécessaire ; il faut, bien entendu, quand on veut faire des mesures absolues, que cet ampèremètre soit étalonné.

2° *Courant variable.* — Dans le second procédé, après avoir excité l'électro-aimant et établi l'équilibre, on ajoute un *poids fixe* dans le plateau. On lance alors, dans le sens convenable, un courant dans la bobine, et on fait varier ce courant avec un rhéostat jusqu'à ce que l'équilibre soit rétabli. On note alors la valeur du courant utilisé et on calcule le champ. Comme contrôle, on *retranche* le même poids et on fait la mesure en lançant le courant en sens contraire.

Ce procédé qui dispense de manier des subdivisions du gramme est très rapide et très commode, surtout quand on dispose, au moins pour achever l'opération, d'un rhéostat à mouvement continu [1]. Il est bon d'utiliser les butoirs limitant la course du fléau : on place l'un de ces butoirs de façon qu'il maintienne le fléau dans sa position d'équilibre primitive, au moment où on ajoute le poids : il ne reste plus qu'à faire varier progressivement le courant jusqu'à ce que le fléau quitte le butoir.

Dans ce procédé du courant variable, il faut deux sources indépendantes pour exciter l'appareil produisant le champ et pour produire le courant utilisé dans l'appareil de mesure : ce dernier étant très peu résistant, quelques accumulateurs ou même quelques éléments de pile, suffisent.

Stabilité de l'équilibre. — Étude d'un champ variable. — Si l'on examine les conditions d'équilibre du fléau soumis aux diverses forces qui le sollicitent, on se rend compte facilement des résultats suivants :

L'équilibre de la balance avant le passage du courant, et le changement du poids, étant stable ; le nouvel état d'équilibre obtenu pendant la mesure est encore stable, si le champ est uniforme ou varie peu rapidement.

Si le champ varie rapidement, l'équilibre peut devenir instable, mais cela n'a lieu que pour un sens déterminé du courant circulant dans AB. On voit facilement, en effet, que *si l'action électromagnétique tend à écarter AB* [2] *de la région où le champ est maximum, l'équilibre sera nécessairement stable.*

On pourra donc toujours faire des mesures en équilibre stable, sans modifier la balance, même si le champ varie rapidement. Si l'on veut, pour fixer les idées, étudier le champ en

---

(1) Je me suis bien trouvé de l'emploi d'un rhéostat *hélicoïdal* de Cance, ou bien d'un rhéostat *liquide* comme celui de M. Rothé.

(2) Je suppose toujours qu'on peut négliger l'action sur le côté opposé CD.

dessous d'un maximum, on choisira pour le courant un sens tel que AB soit tiré vers le bas. On choisira le sens inverse si la région étudiée est au-dessus du maximum.

En faisant quelques mesures en divers points, on sera ainsi renseigné sur la loi de variation du champ : ces mesures se feront sans qu'on ait à déplacer le support de la balance, simplement en inclinant plus ou moins le fléau. L'arc qui se meut devant l'aiguille étant gradué, on se rend compte facilement de la position occupée par AB.

VI. Applications.— *a.* L'appareil ainsi construit, sans même qu'on emploie des bobines supplémentaires, peut servir à étudier des champs variant dans de larges limites, en utilisant pour la mesure des courants ne dépassant pas dix ou quinze ampères. On peut ainsi étudier non seulement le champ donné par des électroaimants ou des aimants permanents, mais encore un champ donné par des bobines. Je reviendrai ultérieurement sur les applications à la construction de divers instruments de mesure.

b. Il est évident qu'un tel appareil peut rendre de grands services dans l'étude des propriétés magnétiques du fer, et notamment dans la comparaison des perméabilités. On pourrait, pour ces mesures relatives, donner à l'instrument telle sensibilité que l'on voudrait; je rappelle en outre qu'on peut utiliser le même courant pour faire la mesure du champ et pour aimanter le circuit magnétique à étudier. L'appareil est alors en définitive une sorte de dynamo simplifiée.

c. Enfin l'appareil peut servir dans l'enseignement à des manipulations intéressantes, ayant par exemple pour objet : 1° la vérification de la proportionnalité de la force au courant, et le contrôle de échelle d'un ampèremètre. 2° L'étalonnage d'un galvanomètre balistique. Pour cela on relie les bornes de l'appareil au galvanomètre, et on déplace rapidement l'arc dans le champ d'un certain angle, en se servant des deux butoirs [1]. 3° La construction d'une courbe d'aimantation.

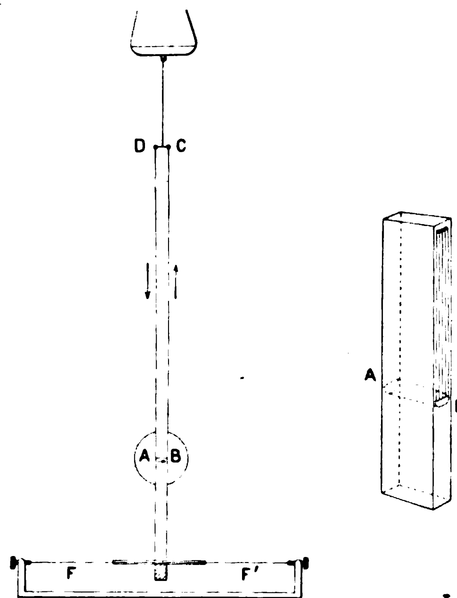


Fig. 5 et 6.

Pour quelques-unes de ces applications, on peut simplifier l'appareil : on lui donne la forme d'une réglette plate ABCD, très allongée, qui est suspendue au plateau d'une balance hydrostatique ordinaire (fig. 5.) [2] Cette réglette porte sur sa tranche plusieurs spires de fil isolé, comme le montre la figure 6, ou bien une bande de cuivre formant une ou plusieurs couches : on mesure comme il a été dit plus haut la longueur utile *l*, et on se sert de l'appareil comme du précédent, la partie AB se trouvant dans le champ à mesurer, dont les lignes de force sont perpendiculaires au plan de la réglette, et la partie CD, assez loin pour que le champ soit négligeable. Les actions sur les côtés verticaux sont nécessairement des forces hori-

---

(1) L'aire balayée par l'élément AB pendant son déplacement est en centimètres carrés égale à $l \times n$; n étant le nombre de centimètres de l'échelle portée par la circonférence moyenne (fig. 4) qui ont défilé devant l'extrémité de l'échelle.

(2) Il est bon d'employer encore deux butoirs limitant la course du fléau : on peut par exemple visser aux deux extrémités de la fourchette qui sert à soulever le fléau, deux vis à large tête dont la pointe peut être amenée au contact du fléau, en dessous.

zontales qui ne sont pas transmises par le fil de suspension et n'interviennent pas dans la mesure.

Ces forces peuvent avoir des inconvénients : elles peuvent produire des déplacements latéraux ou des rotations autour du fil de suspension, de l'appareil ainsi librement suspendu, qui vient alors frotter contre les pièces polaires (1). Pour les éviter, il suffit de maintenir la réglette dans le plan où elle doit se mouvoir : on y arrive en lestant l'extrémité inférieure de l'appareil, et en munissant cette extrémité d'une tige, à laquelle sont attachés deux fils fins, légèrement tendus (2). Les fils souples ou les bandes minces de cuivre servant à amener le courant dans la bobine, dirigés horizontalement, perpendiculairement au plan de la figure, et qui sont attachés à l'extrémité supérieure, concourent également à maintenir le plan de la bobine dans sa position normale.

L'inconvénient de ce dispositif est qu'il faut régler ces fils horizontaux F F′ lorsqu'on veut déplacer la bobine pour explorer les diverses parties d'un champ. De plus, à moins d'enlever à la balance de sa sensibilité, on ne peut employer des courants un peu intenses, et l'appareil est donc inférieur à celui où la bobine est fixée au fléau (3). J'ai tenu cependant à décrire ce modèle simplifié, car il peut être improvisé facilement. Or j'estime nécessaire, que dans l'étude de l'électricité, l'élève ait mesuré, en les comparant à des poids, ces forces qui font tourner nos moteurs.

A. Cotton,
Professeur adjoint à la Faculté des Sciences de Toulouse.

CONGRÈS INTERNATIONAL DE PHYSIQUE (4)

Le Congrès international de Physique qui vient d'avoir lieu à Paris, du 6 au 12 août, a été particulièrement brillant. Un nombre considérable de physiciens étrangers ont répondu

(1) On se rend compte immédiatement de ces actions. Si le champ, dans toutes les régions traversées par l'appareil d'exploration, a ses lignes de force exactement perpendiculaires au plan de la figure, et s'il a la même intensité de part et d'autre, ces forces se font exactement équilibre. Mais cette position est instable : Pour un sens du courant, la bobine dérangée de sa position d'équilibre, tend à se retourner face pour face. Pour l'autre sens, elle est attirée par la pièce polaire la plus voisine, pour peu qu'elle vienne à être écartée du plan vertical où elle se trouvait, et à rencontrer des lignes de force inclinées sur l'horizontale.

(2) Comme dans l'électromètre balance de MM. Abraham et Lemoine.

(3) On pourrait songer à *fixer* à l'extrémité du fléau, une telle réglette à bords rectilignes. Les forces horizontales agissant sur les côtés verticaux pourraient intervenir dans la mesure si l'appareil n'était pas placé bien symétriquement. On pourrait diminuer leur influence, et même à la rigueur en tenir compte ; mais la solution plus correcte donnée par une bobine circulaire n'est pas plus difficile à réaliser.

(4) A peine le Congrès de chimie appliquée vient-il de clore ses séances qu'il nous faut déjà rendre compte du Congrès de physique qui s'est tenu la semaine dernière et songer au Congrès d'électricité qui s'ouvrira à la fin de cette semaine. Les maigres ressources financières du journal ne nous permettent pas d'avoir, comme nos richissimes confrères de la presse technique étrangère, ni sténographes pour nous donner le compte rendu des discussions, ni reporters pour nous renseigner sur l'exécution plus ou moins rigoureuse du programme annoncé ; d'un autre côté, les collaborateurs qui ordinairement nous aident en pareille circonstance, n'ont pu cette fois nous seconder, occupés qu'ils étaient par les détails matériels du Congrès. Il nous a donc fallu, comme nous l'avons fait pour le Congrès de chimie, suivre les séances, les visites, les réceptions, etc., pour essayer d'en donner un compte rendu fidèle à nos abonnés. La tâche était lourde et les forces humaines ont des limites. Nous en avons fait l'expérience. Aussi commençons-nous par prier nos lecteurs de nous excuser si nous ne donnons pas dans ce numéro un compte rendu aussi complet que nous l'eussions désiré des travaux concernant l'électricité qui ont été présentés et discutés au Congrès de physique.

à l'appel du Comité d'organisation ([1]) et presque toutes les sociétés savantes ont tenu à honneur de se faire représenter par les plus illustres de leurs membres.

La séance d'ouverture s'est tenue le lundi 6 août, à 3 heures dans le Palais des Congrès. Comme président du Comité d'organisation, M. Cornu prend la parole pour remercier tous ceux qui ont contribué à cette organisation, en particulier les physiciens qui ont écrit les soixante et quelques rapports qui seront discutés dans les séances du Congrès; il adresse aussi ses remerciements aux délégués des gouvernements et des sociétés savantes. Après ce discours, il est procédé à la nomination des membres du bureau du Congrès. Lord Kelvin est nommé par acclamation président d'honneur et, sur la proposition de M. Warburg, délégué de l'Allemagne, M. Cornu est nommé président. Les vice-présidents, secrétaires généraux et les membres des bureaux de section sont ensuite désignés ([2]).

Les séances de sections ont eu lieu dans les salles de l'Hôtel de la Société d'encouragement, sauf celles de la section VII (Physique biologique) qui se sont tenus à l'École de Médecine. Les différents rapports qui y ont été lus ou analysés sont indiqués ci-dessous ([3]); quelques communications y ont également été faites.

([1]) Le Comité d'organisation, nommé par la Société française de physique à qui appartient l'initiative de la réunion du Congrès, était ainsi composé :

Président : M. Cornu (A.), membre de l'Institut et du Bureau des longitudes ;

Vice-président : M. Cailletet (L.-P.), membre de l'Institut ;

Secrétaires : MM. Guillaume (Ch.-Ed.). attaché au Bureau international des poids et mesures; Poincaré (Lucien), chargé de cours à la Sorbonne;

Membres : MM. d'Arsonval, membre de l'Institut; général Bassat, membre de l'Institut et du Bureau des longitudes: Becquerel (Henri), membre de l'Institut: Benoit, directeur du Bureau international des Poids et Mesures; Bichat, professeur à la Faculté des sciences de Nancy: Blondlot, professeur à la Faculté des sciences de Nancy; Crova, professeur à la Faculté des sciences de Montpellier: Joubert (J.), inspecteur de l'Instruction publique, membre du Comité consultatif d'électricité; Lippmann (G.), membre de l'Institut; Macé de Lépinay, professeur à la Faculté des sciences de Marseille; Mascart (É.), membre de l'Institut; Mathias, professeur à la Faculté des sciences de Toulouse: Pellat (H.), professeur à la Faculté des sciences de Paris; Potier (A.), membre de l'Institut; Violle (J.), membre de l'Institut.

([2]) Bureau du congrès. — *Président d'honneur :* Lord Kelvin;

Président : M. Cornu ;

Vice-présidents français : MM. Cailletet et H. Poincaré;

Vice-présidents étrangers : Exner, Graham Bell, Langley, Righi, sir Roberts Austen, Schwedoff, Van der Walls, Warburg ;

Secrétaire général français : M. Poincaré (Lucien):

Secrétaire général étranger : M. Guillaume (Ch.-Ed.).

Bureau des sections

	I	II	III	IV	V	VI	VII
Présidents :	Benoit	Violle	Lippmann	Potier	Becquerel	Mascart	Charpentier
Vice-présidents :	Perot	Amagat	Gouy	Bouty		Crova	
Présidents étrangers :	Gal Rykatschen	Volterra	Glazebrook	Boys	Lorentz	Cleveland Abbe	
	Thresen	Van der Mensbrugghe	Rydberg	Drude	Voigt	Hagenbach	
Secrétaires :	Mme Curie	Berthelot	Brunkes	Maurain	Cotton	Chauveau	Broca
	Lamotte	Béuard	Dongier	Weiss	Perrin		

([3]) Section I. — *Questions générales; mesures, unités; questions d'enseignement.*

Rapports : Poincaré. Rapports entre la physique expérimentale et la physique mathématique; Benoit, Précision des déterminations métrologiques; Ch.-Ed. Guillaume, Décisions concernant les unités et la nomenclature; propositions diverses; Pellat, Laboratoires nationaux; Macé de Lépinay, Déterminations métrologiques par les méthodes interférentielles; Chappuis, Les échelles thermométriques; Barus, Pyrométrie; Ames, L'équivalent mécanique de la chaleur; Griffiths, L'unité de chaleur; Gouy. L'étalon de force électromotrice; Leduc, L'équivalent

Le programme du Congrès comportait encore des conférences, des visites et des réceptions.

Les conférences ont eu lieu dans les après-midi des mardi, mercredi et jeudi, 7, 8 et 9 août. Dans la première, M. H. Poincaré a parlé des rapports entre la Physique expérimentale et la Physique mathématique ; son discours, pleins de profonds aperçus sur la philosophie des sciences mériterait d'être reproduit *in extenso*, et nous regrettons vivement que les arrangements pris entre le Comité d'organisation et l'éditeur des rapports, M. Gauthier-Villars, ne nous permettent pas de le faire. Dans la seconde, M. H. Becquerel et M. et Mme Curie, ont exposé les résultats de leurs recherches sur les corps radio-actifs et répété quelques-unes des nombreuses expériences qu'ils ont effectuées. Enfin, dans la troisième faite dans le grand amphithéâtre de l'École Polytechnique, M. Cornu a rappelé les travaux exécutés par Figeau, Foucault et lui-même, pour la détermination de la vitesse de la lumière.

Parmi les visites, signalons : la visite des exposants de la classe 15 (instruments de

---

électrochimique de l'argent : Boys, La constante de la gravitation ; Eötvös, Etude des surfaces de niveau ; Bourgeois, Pesanteur à la surface du globe ; Violle, Vitesse du son.

SECTION II. — *Physique mécanique et moléculaire.*

Rapports : Amagat, Statique des fluides ; Van der Waals, Statique des fluides (mélanges) ; Mathias, Constantes critiques ; Galitzine (Prince), L'indice critique ; Battelli, Calorimétrie des fluides ; Van der Mensbrugghe, Capillarité ; Schwedoff, Rigidité des liquides ; Spring ; Les solides sous pression ; Weinberg, La fusion et la cristallisation d'après M. Tamman ; Van't Hoff, Cristallisation à température constante ; Voigt, Élasticité et symétrie des cristaux ; Mesnager Déformation des solides ; Robert-Austen (Sir W.), Micrographie des alliages ; Guillaume, Déformations permanentes des métaux ; Brillouin, La diffusion des gaz ; Perrin, Osmose ; Bjerknes, Actions hydrodynamiques à distance.

SECTION III. — *Optique et thermodynamique.*

Rapports : Lord Kelvin, Conditions de la formation des ondes de l'éther par le déplacement de la matière pondérable ; Drude, Propriétés optiques des métaux ; Rydberg, Répartition des raies spectrales ; Carvallo, Les formules de dispersion ; Cornu, Vitesse de la lumière ; Rubens, Les grandes longueurs d'onde ; Wien, Température et entropie de la radiation ; Lummer, L'émission des gaz ; Lebedew, Les pressions exercées par les radiations ; Lippman, Le principe de Carnot et la théorie cinétique des gaz ; Witz, Progrès de la théorie des moteurs thermiques.

SECTION IV. — *Électricité et magnétisme.*

Rapports : Pointing, Théorie de la propagation de l'électricité ; Abraham, Détermination de v ; Blondlot et Gutton, Vitesse des ondes électriques ; Righi, Les ondes hertziennes ; Branly, Les radio-conducteurs ; Bouty, Les diélectriques gazeux ; Arrhenius, Électrolyse et ionisation ; Christiansen, Électricité de contact ; Lucien Poincaré, Théories de la pile ; Dubois, Propriétés magnétiques des corps ; Warburg, L'hystérésis ; Nagaoka, Magnétostriction ; Hurmuzescu, Effets produits par l'aimantation ; Von Lang, L'arc électrique ; Potier, Les courants polyphasés ; Blondel, Les oscillographes.

SECTION V. — *Magnéto-optique : Rayons cathodiques, rayonnement de l'uranium, etc.*

Rapports : Lorentz, Magnéto-optique ; Becquerel, Rayons uraniques ; Curie (M. et Mme), Les nouvelles substances radio-actives ; Bichat et Swyngedauw, Phénomènes actino-électriques ; Villard, Rayons cathodiques ; J.-J. Thomson, Décharges électriques dans les gaz ; Villari, L'ionisation des gaz.

SECTION VI. — *Physique cosmique.*

Rapports : Sarasin et Forel, Les oscillations des lacs ; Hagenbach, Optique de la glace ; Exner, Électricité atmosphérique ; Paulsen, L'aurore polaire ; Crova, La constante solaire ; Birkeland, Constitution physique du soleil ; Dufour (Ch.), Photométrie stellaire.

SECTION VII. — *Physique biologique.*

Rapports : D'Arsonval, Les courants de haute fréquence dans l'organisme ; Broca, Transmission de l'énergie dans l'organisme ; Charpentier, Phénomènes physiques sur la rétine ; Tscherning, L'accommodation ; Hénocque, Application de l'analyse spectrale à la physique biologique.

précision) et du Groupe V (Électricité), celle du Palais de l'Optique, de la Plateforme roulante (pendant laquelle on a effectué un démarrage), la visite des instruments de météorologie installés sur la Tour Eiffel, et enfin la visite des Laboratoires de la Sorbonne, de MM. Lippmann, Bouty et Pellat.

Cette dernière visite était particulièrement intéressante : Divisés par groupes d'une dizaine de personnes les congressistes ont pu facilement se rendre compte des nombreux appareils que contiennent ces laboratoires. En outre la plupart des appareils servant à des recherches en cours d'exécution étaient montrés en fonctionnement. Enfin plusieurs congressistes n'avaient pas craint d'apporter des laboratoires de province des appareils très délicats pour les présenter à leurs collègues. Nous ne donnerons pas la liste de ces appareils : nous étant attardé devant quelques-uns, notre visite a été incomplète et nous commettrions certainement des omissions. Signalons toutefois les appareils, apportés de Bordeaux, au moyen desquels M. Turpain a fait ses recherches sur le résonateur de Hertz [1] et l'électro-aimant construit par la maison Gindre, de Lyon, d'après les plans de son ingénieur, M. Limb. Ce dernier appareil est remarquable pour sa puissance ; il est formé de deux électro-aimants à noyaux creux disposés horizontalement dans le prolongement l'un de l'autre comme dans le modèle classique de Ruhmkorff ; sur chaque noyau sont enroulées quatre bobines ; en mettant les quatre bobines en série sur un circuit à 110 volts ont obtient entre des pièces polaires coniques un champ d'environ 40 000 unités C. G. S., et on peut le maintenir pendant plus d'une heure sans échauffement anormal des bobines ; avec deux bobines en quantité, l'intensité atteint 44 000 unités C. G. S.; enfin en disposant les quatre bobines en quantité on produit, pendant 10 à 15 minutes sans échauffement dangereux, un champ de 47 000 unités.

Quant aux réceptions indiquées au programme elles étaient: réception à l'Hôtel de Ville, le mardi soir; fête offerte par le président de la république le jeudi soir; réception offerte par le Prince Roland Bonaparte, le samedi soir. La première n'a pu avoir lieu en raison des funérailles du roi d'Italie ; de la seconde, remise pour la même cause à l'après-midi du vendredi, nous n'avons rien à dire ici, les danses antiques qui en constituaient la principale attraction étant du domaine de l'art mais non du domaine de la physique ; la troisième doit être au contraire signalée dans ce compte rendu non seulement par ce qu'elle montre une fois de plus l'intérêt que porte le Prince Roland Bonaparte à la science, mais encore parce que, dans la magnifique bibliothèque son hôtel se trouvaient exposés divers appareils qui donnaient à la réception le caractère des séances de Pâques de la Société de Physique. Parmi les appareils citons, sans avoir d'ailleurs la prétention de les citer tous : les appareils de télégraphie sans fils de M. Ducretet ; les apparells de radiographie et à haute fréquence construits par la maison Radiguet et Massiot ; les instruments de mesures de M. Richard parmi lesquels se trouvait un appareil nouveau destiné à mesurer, par la méthode stroboscopique, la vitesse des objets en mouvement ; les appareils à courant de haute fréquence de la maison Gaiffe ; l'appareil de M. Weiss pour l'étude magnétique de la pyrrhotine ; l'appareil de M. Cotton pour la mesure des champs magnétiques, décrit dans ce numéro et construit par M. Pellin ; le dernier modèle de l'oscillographe Blondel construit par M. Dobkévitch ; etc.

Pour en finir avec cette esquisse rapide des travaux du congrès de physique, il nous faudrait encore faire connaître les décisions et vœux proposés dans les diverses sections et ratifiés par le Congrès dans sa séance de clôture tenue dimanche dernier dans la matinée, quelques-unes des décisions concernant les définitions d'unités physiques qui intéressent

---

(1) Voir *L'Éclairage Électrique*, t. XXIII, p. 428 et 471, 16 et 30 juin 1900.

nos lecteurs. N'ayant pu nous procurer le texte exact de ces décisions au moment où il nous faut remettre ces lignes à l'imprimeur, nous croyons préférable d'en retarder la publication de huit jours, la forme, dans l'énoncé d'une définition, étant aussi importante que le fond.

Il nous reste maintenant à donner l'analyse des rapports et communications présentés au Congrès (1) et qui se rapportent à l'électricité ou qui touche à l'art de l'ingénieur; c'est ce que nous ferons dans le prochain numéro.

J. Blondin.

CONGRÈS INTERNATIONAL DE CHIMIE APPLIQUÉE (2)

DÉSIGNATIONS UNITAIRES FONDAMENTALES EN ÉLECTROCHIMIE

M. le Dr Le Blanc a été chargé, comme membre de la Commission des Unités de Mesures de la Société électrochimique allemande, de rappeler aux membres du Congrès de Paris que, sur sa proposition, le troisième Congrès international de chimie appliquée (Vienne 1898) a adopté les définitions suivantes, préconisées par la Société allemande d'électrochimie :

1° La *conductivité* est exprimée en ohm-centimètre. Un corps possède l'unité de conductivité lorsqu'un cylindre de ce corps ayant un centimètre carré de surface et un centimètre de hauteur a une résistance de un ohm;

2° La *conductivité molléculaire* est le quotient de la conductivité, définie comme il vient d'être dit, par le nombre de grammes-molécules dissous dans un centimètre cube;

3° La *quantité d'électricité* nécessaire pour la séparation de l'équivalent-gramme (96 540 coulombs) sera désignée par la lettre F, pour rappeler le nom de Faraday.

M. Le Blanc fait ensuite observer que les notations employées pour désigner la conductivité électrique et diverses grandeurs dérivées de celle-ci diffèrent beaucoup, suivant les auteurs. Tout en reconnaissant que la question des notations n'a qu'une importance secondaire par rapport à celle des définitions, il estime — et nous sommes de son avis — qu'il serait désirable d'uniformiser ces notations en vue de rendre plus facile la lecture des traités d'électrochimie à ceux qui n'ont que rarement l'occasion de consulter ces ouvrages. Aussi préconise-t-il les notations adoptées par MM. Kohlrausch et Holborn dans leur récent ouvrage publié en langue allemande sur la « Conductibilité des Electrolytes » et en conséquence il demande au Congrès d'adopter les propositions suivantes :

1° La *conductivité électrique* (ou conductibilité spécifique) d'un corps, définie comme il a été dit plus haut, sera représentée par K;

2° La *concentration équivalente* d'une solution, c'est-à-dire la concentration sera exprimée par le nombre n d'équivalents-grammes dissous dans un centimètre cube; la *dilution équivalente* sera représentée par l'inverse $\varphi = \frac{1}{n}$ de ce nombre;

3° La *conductibilité équivalente* sera exprimée par $\Lambda = \frac{K}{n}$;

(1) *Le mois scientifique et industriel* a, dans un numéro exceptionnel dédié aux membres du Congrès international de Physique, donné un résumé succinct de tous les rapports présentés au Congrès ; nous renvoyons nos lecteurs à cette intéressante publication pour les rapports qui, par leur nature, ne seront pas analysés ici.

(2) Voir *L'Éclairage Électrique* du 4 et du 11 août 1900, p. 169-183 et p. 222-223.

4° Les *mobilités électrolytiques* de l'anion et du cathion seront représentées par l_a et l_k; on aura dès lors $l_a + l_k = \Lambda$ et $\frac{l_a}{\Lambda}$ ou $\frac{l_a}{l_a + l_k} = n$;

5° Les *vitesses*, exprimées en centimètre : seconde pour une différence de potentiel de un volt par centimètre, seront représentées par U pour les cathions et V pour les anions.

M. Le Blanc ajoute que l'on trouve dans l'ouvrage de MM. Kolhrausch et Holborn les nombres permettant de passer des expressions numériques des grandeurs électrochimiques employées jusqu'ici par divers auteurs à celles exprimant les grandeurs qui viennent d'être définies.

A la suite de cette communication, M. Gall fait remarquer que cette question est trop complexe pour être traitée dans une séance du Congrès sans préparation préalable et propose la nomination d'une Commission chargée de présenter un rapport sur ce sujet au prochain Congrès [1].

Ajoutons que dans la séance qui a suivi celle où M. Le Blanc présentait son rapport, M. Moissan a fait observer que cette Commission pourrait porter cette question devant le Congrès de Physique ; cette proposition a été adoptée [2].

---

[1] La commission nommée comprend MM. Moissan, Blondin, Guntz, Hollard, Gall, Lippmann, Dr Le Blanc, Dr Classen, Etard, Palmaer, Brochet, Lebeau, Muller, Marie.

[2] Sept jours seulement s'étant écoulés entre l'adoption de cette proposition et l'ouverture du Congrès de Physique, la Commission, dont les membres se sont dispersés après la clôture du Congrès de Chimie, n'a pu trouver l'occasion de se réunir. Bien que membre de cette commission et bien qu'ayant suivi aussi activement que nous l'avons pu les travaux du Congrès de physique, nous n'avons pas eu connaissance que les propositions du Dr Le Blanc aient été présentées à ce dernier Congrès. Nous nous proposons de les soumettre au Congrès d'Electricité, si toutefois l'ordre du jour, déjà bien chargé, le permet.

Disons immédiatement que très partisan de l'« uniformisation des notations », — qu'on nous permette d'employer le mot d'uniformisation bien que l'Académie française ne l'ait pas encore adopté, parce qu'il nous paraît mieux que le mot unification l'idée que nous voulons exprimer, — nous nous rangeons à l'idée de M. Le Blanc sur la nécessité d'uniformiser les notations employées par les électrochimistes. Nous désirerions même, pour la commodité de la lecture des mémoires scientifiques et techniques, que cette uniformisation portât sur toutes les branches des connaissances humaines.

Malheureusement nous sommes obligés de combattre les propositions du Dr Le Blanc en ce qui concerne les notations.

Nous ne pouvons en effet admettre que la conductivité soit représentée par K alors que cette lettre est employée pour représenter la susceptibilité moléculaire, grandeur que l'on est souvent amené à considérer en même temps que la conductivité dans l'étude des solutions électrolytiques. Nous faisons également toutes nos réserves sur l'adoption de la lettre φ pour désigner la dilution équivalente, cette lettre étant employée par de nombreux auteurs pour désigner l'intensité d'un champ (électrique ou électrique). Quant à l'adoption de l'indice k pour indiquer que la quantité dont on parle s'applique au cathion, nous n'y verrions pas d'inconvénient quoique, aussi bien en français qu'en anglais, on écrive cathion ; nous pourrions en effet écrire *kation* comme le font les Allemands, sans craindre les foudres de l'Académie française, puisqu'il est déjà entendu que l'on a le droit, suivant les auteurs électrochimistes, d'écrire *cathion* ou *cation*.

Remarquons que nos objections qui, nous désirons insister sur ce point, portent sur la *forme* et non sur le *fond* des propositions du Dr Le Blanc, ont uniquement pour cause la difficulté de trouver, pour désigner une grandeur, un caractère de l'alphabet romain ou grec, qui n'ait pas déjà une signification adoptée presque universellement. Cette pénurie des caractères a conduit Maxwell à l'emploi des caractères gothiques et divers auteurs plus modernes à l'emploi de caractères penchés. Ces notations, très commodes pour l'impression typographique, sont absolument inutilisables dans l'écriture manuscrite, les caractères gothiques exigeant pour leur confection un temps considérable et les caractères penchés (*P*) ne se distinguant pas suffisamment des caractères droits (P).

Aussi profitons-nous de cette digression pour poser cette question : N'y aurait-il pas intérêt à créer un certain nombre de caractères de construction simple, destinés à remplacer certaines des lettres romaines grecques et romandes qui ont actuellement une multiple signification ? L'adoption de cette proposition rencontrerait sans nul doute des adversaires parmi les éditeurs qui se verraient ainsi forcés d'augmenter leur matériel d'impression. Mais comme sans auteurs il n'y aurait pas d'éditeurs, cette raison est suffisante pour que l'on puisse augurer qu'un accord s'établirait bientôt. D'ailleurs notre proposition n'est nullement révolutionnaire : les astrologues et les alchimistes ont créé de nombreux signes pour désigner abréviativement les astres, les constellations, les corps simples ou composés ; de leur côté les mathématiciens ont introduit dans leurs notations des signes qui effraient les bache-

ÉTAT ACTUEL DE L'ÉLECTROCHIMIE APPLIQUÉE AUX COMPOSÉS ORGANIQUES

Le rapport de M. C. Marie, préparateur de chimie appliquée à la Faculté des sciences, sur cette question est d'autant plus intéressant que l'on ne peut avoir que très difficilement des renseignements sur l'importance industrielle de l'application de l'électrochimie à la préparation des composés organiques [1].

Dans ce rapport, M. Marie commence par rappeler que de nombreux savants français ont étudié, avec un succès démontré par les résultats obtenus, l'action de l'énergie électrique sur les composés organiques les plus divers : il cite à ce propos les synthèses classiques de l'acétylène et de l'acide cyanhydrique réalisées par M. Berthelot qui tout récemment encore, obtenait par l'effluve les composés sulfurés de la série grasse ; les travaux de Friedel sur l'électrolyse de l'acétone ; l'électrolyse des acides organiques étudiée par Bourgouin, Bonis et Wurtz en France en même temps que par Kohle en Allemagne, les travaux de Renard, Riche, Jaillard, Deherain, d'Almeida sur les alcools, etc.

Passant aux applications techniques, il cite les travaux de Gœpelsroder sur la synthèse des matières colorantes, ceux de Naudin sur la désinfection des alcools mauvais goût, etc.

Il fait observer que les insuccès relatifs de ces applications détournèrent pendant quelques années les chercheurs de l'électrochimie organique et qu'il fallut attendre les théories des Ostwald, Arrhenius, Nernst et les travaux de Bouty et de Kohlrausch sur les conductibilités électrolytiques, pour qu'une base scientifique donnât une nouvelle impulsion à ce genre de recherches.

Le rapporteur fait observer ensuite que des trois formes d'utilisation de l'énergie électrique en chimie, arc, effluve, électrolyse, cette dernière seule a fourni à l'heure actuelle des résultats pratiques ; aussi ne s'occupe-t-il guère dans la suite de son rapport que de l'électrolyse, indiquant tout d'abord les principales réactions nettes réalisées par voie électrolytique, puis signalant ensuite les procédés ou les réactions dans lesquels le courant joue un rôle secondaire ou incomplètement expliqué.

A cause de la simplicité des réactions qu'ils fournissent, M. Marie considère en premier lieu les non-électrolytes, c'est-à-dire les corps neutres, les cétones, les aldéhydes, les bases telles que la pyridine, la quinoléine, etc. Il faut nécessairement ajouter à la solution plus ou moins aqueuse de ces substances un électrolyte, base, acide ou sel, la rendant conductrice de l'électricité, et permettant au courant de libérer l'oxygène ou l'hydrogène nécessaire à la réaction oxydante ou réductrice cherchée. Il peut y avoir alors ou fixation simple de l'hydrogène ou enlèvement de l'oxygène, ou enfin fixation de ce dernier élément. Le rapport examine successivement ces trois cas, ainsi que celui de la fixation de corps halogènes, chlore, brome, iode [2].

---

liers frais émoulus. La seule difficulté résiderait donc dans le choix de caractères faciles à distinguer et de reproduction manuscrite rapide ; les principes de la sténographie montrent, croyons-nous, qu'elle n'est pas insurmontable.

(1) Les corps que l'on prépare de cette façon ont en effet une valeur intrinsèque considérable, souvent plusieurs milliers de francs le kilogramme. Comme d'autre part leur préparation ne nécessite généralement que des opérations de laboratoire, tenues cachées et que les fabricants se gardent bien de dévoiler par des prises de brevets, il s'en suit que beaucoup d'usines, très importantes par la somme des produits qu'elles fabriquent, passent totalement inaperçues.

(2) Comme exemple de fixation simple d'hydrogène nous rencontrons, dit M. Marie, la transformation indiquée par Ahrens, brevetée par Merck de la pyridine en pipéridine, de la quinoléine en dihydroquinoléine par simple électrolyse de la base dissoute dans l'acide sulfurique concentré.

La picoline ou méthylpyridine donne de même par fixation de H^2 la pipécoline, et par une réaction tout à

M. Marie aborde ensuite l'étude des corps électrolytiques, c'est-à-dire des corps disso-

fait semblable Ahrens a pu transformer les nitriles, principalement ceux de la série aromatique, en amines correspondantes. C'est ainsi que le benzonitrile C^6H^5CAz fournit la base correspondante $C^6H^5CH^2AzH^2$.

Appliquée à certains corps contenant le groupe CO la réduction électrolytique les transforme dans l'alcool secondaire correspondant. C'est ainsi que la cétone de Michler donne le benzhydrol; de même la tropinone qui a fourni à la fabrique chimique de Berlin, la tropine, sans trace, et c'est là le point intéressant, de pseudotropine, corps que les autres procédés de réduction fournissent toujours en même temps.

Avec les réductions par enlèvement d'O et fixation d'H nous entrons dans la partie la plus étudiée de la chimie organique électrolytique. Un corps nitré tel que la nitrobenzine peut en effet, ainsi que l'ont montré les travaux de Gottermann, Löb, Haber, etc., donner naissance à différents corps suivant le milieu et les conditions dans lesquelles la réduction est effectuée. En solution alcaline on peut ainsi obtenir l'azo ou l'hydrazo, en solution acide l'hydroxylamine substituée correspondante ou plutôt par transposition moléculaire, l'amidophénol. Le nitrobenzène donne ainsi l'azobenzène, l'hydrazobenzène en solution alcaline, en solution acide le *p*-amidophénol. Pour ce dernier, Gottermann démontre que sa formation est précédée de celle de la phénylhydroxylamine, en réduisant le nitrobenzène en présence de benzaldéhyde qui fournit le dérivé benzydilénique correspondant. Dans la même réaction Löb remplace l'aldéhyde benzoïque par l'aldéhyde formique et obtient des produits polymérisés. Enfin Haber donne une preuve directe de la formation de l'hydroxylamine en l'extrayant en nature du produit de réduction du nitrobenzène seul.

La formation du *p*-amidophénol à partir du nitrobenzène est brevetée par la fabrique d'Elberfeld. La réduction en solution alcaline brevetée d'abord par Straub est perfectionnée à la fabrique d'aniline A. Wulfing qui, en remplaçant l'hydrate alcalin employé par un acétate alcalin, assure aux diaphragmes une plus longue durée. La *m*-nitroniline ainsi réduite donne avec un rendement de 80 p. 100 un hydrazoïque nouveau le *m*-diamido hydrazobenzène caractérisé par l'identité de la benzidine correspondante avec celle obtenue par réduction directe de la dinitrobenzidine. L'électrolyse de mélanges de nitrés donne à Löb des azoïques mixtes $RAz = AzR'$ en même temps bien entendu que les azoïques simples dérivés des nitrés employés.

Ces réactions très nettes ont été appliquées par différents savants à un grand nombre de nitrés à fonctions variées acides, bases, aldéhydes, etc, et ont fourni la matière de nombreux brevets.

Parmi les composés oxygénés non nitrés réduits par électrolyse on peut encore citer la cotarnine transformée, par perte d'un atome d'oxygène en hydrocotarnine (E. Bandow et R. Wolffenstein); l'hydrastinine $C^{11}H^{13}Az\,O^3$ qui fournit l'hydrohydrastinine $C^{11}H^{13}\,AzO^2$; et enfin, d'après les travaux de Thomas B. Baillu et Tafel, les composés tels que l'acétanilide qui fournissent les amines substituées correspondantes. L'acétanilide $C^6H^5AzHCOCH^3$ donne ainsi l'éthylamine $C^6H^5AzHC^2H^5$. Cette réaction appliquée par les mêmes auteurs à d'autres produits contenant les groupes CO les a conduits à transformer avec des rendements d'au moins 70 p. 100 la caféine en désoxycaféine, la benzoylpipéridine en benzylpipéridine etc.

Avant de quitter ce chapitre nous citerons encore la réduction de bases acétoniques étudiée par la fabrique chimique de Berlin dans le but de préparer des matières premières pouvant servir à la synthèse de matières colorantes ou médicamenteuses.

Comme contre partie de ces phénomènes de réduction à la cathode nous trouvons les phénomènes d'oxydation à l'anode. Phénomènes bien plus complexes, et par suite moins étudiés. Comme exemple de réaction simple il convient de citer les nombreux brevets pris, tant en France qu'à l'étranger, pour préparer la vanilline au moyen de l'isoeugénol. L'oxydation dans ce cas transforme la chaîne latérale C^3H^5 de l'isoeugénol en groupe aldéhydique $C\begin{smallmatrix}\diagup O\\ \diagdown H\end{smallmatrix}$.

La délicatesse de cette réaction est attestée par le grand nombre de brevets où elle est étudiée. Parmi ceux-ci nous pouvons citer les brevets français de Kolbe, Otto et Verley, les brevets allemands des successeurs du Dr Heyden à Radebeul et ceux de Haarmann et Reymer.

L'oxydation intéressante signalée par Elbs du *p*-nitrotoluine avec transformation en alcool *p*-nitrobenzylique n'est encore qu'un fait isolé dont on peut rapprocher cependant la transformation brevetée, par les successeurs de Heyden, du toluène sulfonamidé en benzosulfonimide plus connu sous le nom de saccharine.

A ces réactions nous devons ajouter celles qui ont pour objet de fixer les halogènes Cl, Br, I sur certaines matières organiques. La société des usines du Rhône a breveté la préparation électrolytique de l'éosine et autres dérivés halogénés de la fluorescéine. Dans ce procédé, le courant agissant sur le mélange des corps à chlorer, bromer ou ioder avec le sel alcalin halogéné correspondant sert simplement à produire la scission entre le métal alcalin qui se rend au pôle négatif tandis que le métalloïde libéré au pôle positif se combine avec la molécule organique soumise à la réaction. Il n'est plus nécessaire d'employer un excès de brome ou d'iode et l'on obtient avec un rendement meilleur que dans les procédés ordinaires des matières colorantes de nuances plus pures.

A cette série se rattachent tous les antiseptiques iodés dérivés des phénols, l'aristol, par exemple, ou thymol diiodé dont la préparation électrolytique est brevetée par la fabrique chimique d'Elberfeld, et surtout l'iodoforme le premier en date de ces produits, préparé par électrolyse dès 1884.

ciés plus ou moins complètement dans leurs solutions. Il la divise en deux parties : électrolyse des acides gras ou de leurs sels et synthèses réalisées.

Dans la première partie, il signale les recherches de Bunge en 1889 et celles, plus récentes, de J. Hamonet et de Petersen. Ces derniers chimistes, en opérant sur des quantités de sels alcalins un peu considérables, ont pu isoler nettement tous les produits formés dans la réaction. M. Petersen a vérifié ainsi les vues de Kolbe sur ce sujet, et montré que la formation de carbure gras normal était générale, mais toujours liée à celle de carbures incomplets. Les expériences précises ont en outre montré l'influence des différents facteurs, concentration, intensité, sur les rendements dans les divers produits.

Passant aux synthèses réalisées, M. Marie cite : celles de Brown et Walker, qui, partant du sel éther d'un acide bibasique à *n* atomes de carbone, produisent l'acide bibasique à 2 *n* atomes de carbone ; celles de Myler et Hofer qui électrolysent le mélange d'un acide gras et d'un éther sel d'acide bibasique ; celles de J. Hamonet qui obtient des glycols au moyen des sels alcalins d'oxyacides substitués dans l'oxhydrile ; enfin celles de Mulliken qui enlève par électrolyse le sodium de dérivés tels que le malonate d'éthyle sodé ou l'acétylacétonate de sodium.

La dernière partie du rapport est consacrée au rappel des réactions dans lesquelles le courant électrique joue un rôle très incomplètement défini.

Dans ce genre de réactions il place le tannage électrolytique étudiée dès 1860 par Cross et Ward, depuis par Rehne, de Meritens, Gaulard et Kresser, et qui a été l'objet de recherches et de brevets pris depuis 1890 par Fœlsing, E. Jean, Pinna, Lormies, Westengard et Zerener, Bing, etc. Il y place également les procédés d'épuration des jus sucrés (brevetés par Schallmeyer et Dammeyer, Van der Weyde et Lugo, Meygret, Bouillant, Javaux et Gallois, Ranson, Urbain, Gallois et Dupont, etc.) dont un seul, le procédé Say-Gramme est, à la connaissance du rapporteur, exploité industriellement. Il y rattache aussi les travaux de Foelsing et de Cerych sur la préparation d'extraits tannants ; ceux du Dr Klein (1891) sur la préparation de colorants appartenant au groupe du bleu de méthylène ; divers autres travaux de Voigt (1894), de la fabrique badoise d'aniline (1895 et 1896) et de Weizmann (1897) sur la préparation de matières colorantes ; le procédé Moller (1897) pour préparer la levure en utilisant le courant d'une part à stériliser le moût, d'autre part à activer la fermentation en fournissant de l'oxygène ; le procédé Deininger pour vieillir artificiellement les liquides alcooliques en les saturant d'abord d'oxygène puis les soumettant à l'action d'un courant alternatif; le procédé d'épuration de la glycérine breveté par Perrier, en 1899 ; enfin le procédé Nodon-Bretonneau pour le vieillissement et la conservation des bois.

M. Marie signale ensuite certaines matières premières employées en chimie organique et qui sont préparées par voie électrochimique ; tel est le mélange de persulfate d'ammoniaque et d'acide sulfurique employé par la fabrique badoise d'aniline et qui possède la propriété de transformer directement l'aniline en nitro-benzine.

Le rapporteur termine en regrettant que pour plusieurs causes, dont nous indiquons quelques-unes en commençant, il n'ait pu se rendre exactement compte de l'importance des applications industrielles des réactions si diverses qu'il a eu l'occasion de citer dans son rapport.

(*A suivre.*)

J. Blondin.

CONGRÈS INTERNATIONAL D'ÉLECTRICITÉ

Le Congrès international d'électricité qui se tiendra à Paris la semaine prochaine (18-25 août) étant appelé à prendre des décisions sur les unités de mesure et sur diverses questions d'ordre général, il était utile, pour faciliter les propositions nouvelles et leur discussion, de rappeler les décisions prises par les Congrès antérieurs.

M. Hospitalier s'est chargé de cette tâche. Dans un rapport, actuellement à l'impression et qui sera distribué aux membres du Congrès, il indique les tentatives faites de 1861 à 1881 en vue de définir les unités électriques, rappelle les décisions du premier Congrès international qui eut lieu à Paris en 1881, les résolutions des Conférences internationales de 1882 et 1884, et enfin les décisions du second Congrès qui se tint à Paris en 1884 et du Congrès de Chicago de 1893.

Nous reproduisons ci-dessous ce rapport, dont M. Hospitalier a bien voulu nous communiquer les épreuves.

DÉCISIONS DES CONGRÈS ANTÉRIEURS, par **E. Hospitalier**.

Bien que l'électricité compte aujourd'hui un siècle d'existence, les premières tentatives faites pour créer des unités exactes et rationnelles pour sa mesure remontent à peine à une quarantaine d'années.

C'est, en effet, en 1861 que la *British Association*, sur la proposition de M. William Thomson, aujourd'hui Lord Kelvin, institua une Commission chargée de déterminer la meilleure unité de résistance électrique.

Dans un rapport présenté, en 1862, au meeting de Cambridge, la Commission proposait l'adoption du système électromagnétique de Weber, basé sur le système métrique, et l'emploi d'unités dites *absolues*, déduites les unes des autres par un enchaînement logique de définitions successives, en vue de faire disparaître les coefficients numériques parasites dont les unités anglaises actuelles nous offrent un si bel exemple... à ne pas imiter.

L'œuvre de la Commission se compléta peu à peu par des rapports présentés :

Le deuxième à Newcastle-on-Tyle en 1863 ;

Le troisième à Bath en 1864 ;

Le quatrième à Birmingham en 1865 ;

Le cinquième à Dundee en 1867 ;

Le sixième à Exeter en 1869.

En 1875, la *Physical Society*, de Londres, publiait un Recueil de constantes physiques qui résumait et développait les décisions de la *British Association*, mais c'est seulement en 1881 que le premier *Congrès international des Electriciens* tenu à Paris à l'occasion de l'Exposition universelle d'Electricité, donnait une sanction officielle internationale à quelques-unes de ces décisions.

Dans sa séance du 5 octobre 1881, le Congrès émit le vœu que le Gouvernement français voulût bien inviter les autres puissances à constituer des Commissions internationales chargées de résoudre un certain nombre de questions relatives aux unités électriques, à l'étalon de lumière et aux phénomènes électriques de l'atmosphère.

La *Conférence internationale pour la détermination des unités électriques*, convoquée à Paris par les soins du ministère des affaires étrangères en exécution des vœux du Congrès de 1881, tint deux réunions : la première du 16 au 26 octobre 1882, la seconde du 28 avril au 3 mai 1884.

Deux autres Congrès officiels se sont tenus à Paris en 1889 et à Chicago en 1893.

Enfin, deux Congrès internationaux non officiels se sont réunis à Francfort-sur-le-Mein en 1891, et à Genève en 1896.

A la veille du *Congrès international d'Électricité*, qui va siéger à Paris du 18 au 25 août, il nous a paru utile de réunir les décisions prises par chacun de ces Congrès, en vue de faciliter les propositions nouvelles, sans apporter aucune modification aux décisions antérieures, décisions qui doivent êtres respectées pour que les Congrès futurs respectent à leur tour celles du Congrès de 1900.

Congrès international des Électriciens, Paris (15 septembre-5 octobre 1881).

Première section. — *Unités électriques*. 1° On adoptera pour les mesures électriques les unités fondamentales : centimètre, gramme-masse, seconde (C. G. S.) ;

2° Les unités pratiques l'*ohm* et le *volt* conserveront leurs définitions actuelle : 10^9 pour l'ohm et 10^8 pour le volt.

3° L'unité de résistance (ohm) sera représentée par une colonne de mercure d'un millimètre carré de section à la température de 0° C.

4° Une Commission internationale sera chargée de déterminer par de nouvelles expériences, pour la pratique, la longueur de la colonne de mercure d'un millimètre carré de section à la température de 0° C. qui représentera la valeur de l'ohm.

5° On appelle *ampère* le courant produit par un volt dans un ohm.

6° On appelle *coulomb* la quantité d'électricité définie par la condition qu'un ampère donne un coulomb par seconde.

7° On appelle *farad* la capacité définie par la condition qu'un coulomb dans un farad donne un volt.

(*Séance du 20 septembre* 1881.)

Deuxième section. — *Télégraphie et téléphonie*. 1° Une entente sera établie entre les administrations télégraphiques des divers pays à l'effet d'instituer des expériences périodiques de mesures sur les fils internationaux.

2° Dans les marchés et publications, on ne désignera désormais, dans tous les pays, les fils que par leur diamètre exprimé en millimètres ou fractions de millimètre, à l'exclusion de toute indication de jauge.

(*Séance du 24 septembre* 1881.)

Le Congrès, en se ralliant aux vœux relatifs à la conservation des arbres à gutta-percha, désire signaler aux intéressés l'utilité des mesures qu'il conseille.

Que les Gouvernements des divers pays s'occupent de la nécessité d'établir des rapports internationaux concernant la propriété des câbles sous-marins.

(*Séance du 28 septembre* 1881.)

Troisième section. — *Unités de lumière*. 1° Que le Congrès recommande au jury l'emploi de la lampe Carcel dans les comparaisons faites avec les divers appareils de lumière électrique exposés.

2° Que le Gouvernement français veuille bien se mettre en rapport avec les Gouvernements étrangers, à l'effet de nommer une Commission internationale qui sera chargée de la détermination de l'étalon définitif de lumière, et des dispositions à observer dans l'exécution des expériences de d'étudier et de comparaison.

(*Séance du 24 septembre* 1881.)

Commissions internationales. — Le Congrès émet le vœu que le Gouvernement français veuille bien inviter les autres Gouvernements à constituer trois Commissions internationales chargées résoudre les questions suivantes :

Première Commission. — Déterminer par de nouvelles expériences, pour la pratique, la longueur de la colonne de mercure de 1 mm² de section qui, à la température de zéro, représentera la valeur de l'*ohm*.

a. Deuxième Commission. — Préciser les méthodes d'observation pour l'électricité atmosphérique....

b. Réunir les éléments statistiques relatifs à l'efficacité des paratonnerres des divers systèmes, et à l'action préservatrice ou nuisible des réseaux télégraphiques et téléphoniques....

c. Organier l'étude systématique des courants terrestres....

d. Etudier les meilleures conditions d'établissement d'un réseau *télémétéorographique* international.

Troisième Commission. — Déterminer un étalon définitif de lumière et les dispositions à observer dans l'exécution des expériences de comparaison.

(*Séance du* 5 *octobre* 1881.)

Conférence internationale pour la détermination des unités électriques (1882-1884).

Première session (1882).

Première Commission. — *Unités électriques*. — La Commission considère que les déterminations faites jusqu'à présent n'offrent pas encore le degré de concordance qui serait nécessaire pour fixer la valeur numérique de l'ohm en colonne mercurielle.

Elle estime donc qu'il y a lieu de poursuivre les recherches....

La Conférence exprime le vœu que le Gouvernement français prenne les mesures nécessaires pour qu'un même étalon ou plusieurs étalons de résistance soient mis à la disposition des savants qui s'occupent de recherches absolues, afin de rendre les comparaisons plus faciles;

Que le Gouvernement français veuille bien transmettre aux Gouvernements représentés à la Conférence un vœu tendant à ce que chacun d'eux, en considération de l'importance d'une solution pratique et de son urgence, prenne les mesures nécessaires pour favoriser les recherches de ses nationaux relatives à la determination des unités électriques.

(*Séance du* 26 *octobre* 1882.)

Deuxième Commission. — *Électricité atmosphérique et courants terrestres*. — La Commission recommande aux Gouvernements les observations régulières et continues de l'électricité atmosphérique.

La Commission émet le vœu que les paratonnerres soient partout soumis à une vérification périodique.

La Commission émet le vœu que certaines lignes, même de petite longueur, indépendantes du réseau télégraphique général dans chaque pays, soient consacrées d'une manière exclusive à l'étude des courants terrestres, et que les grandes lignes, particulièrement les lignes souterraines, soient utilisées, le plus fréquemment possible, pour des recherches de même nature....

Le moment ne paraît pas venu de donner suite au projet d'établissement d'un réseau télémétéorographique international, mais la Commission s'est montrée extrêmement favorable à toutes les mesures qui pourront faciliter le développement des dépêches météorologiques et améliorer le service de la prévision du temps.

(*Séance du 26 octobre 1882.*)

Troisième commission. — *Étalon de lumière*. — La Conférence, reconnaissant que les recherches faites jusqu'à présent donnent lieu d'espérer que la lumière émise par le platine fondant pourra conduire à un étalon absolu, émet le vœu que ces expériences soient poursuivies.

Comme étalon secondaire usuel, la Conférence recommande l'emploi de la lampe Carcel, système de la vérification du gaz dû à MM. Dumas et Regnault ou d'une lampe équivalente employée avec les mêmes soins.

Les bougies peuvent servir également, si l'on prend assez de soin pour assurer l'identité de composition, de forme, de construction et de consommation.

Pour les expériences de précision et pour quelques applications, telles que les phares, la comparaison des lumières doit être faite par une analyse des différents éléments qui les constituent.

La Conférence réitère la décision du Congrès de 1881, en vertu de laquelle toute détermination d'un foyer électrique et, en général, de tout foyer qui rayonne différemment dans les différentes

directions doit comprendre comme élément essentiel la formule de ce foyer, c'est-à-dire la relation qui existe entre l'intensité lumineuse et la direction des rayons.

(*Séance du 26 octobre 1882.*)

Deuxième Session (1884).

Première commission. — *Unités électriques.* — L'ohm légal est la résistance d'une colonne de mercure de 1 mm² de section et de 106 cm de longueur à la température de la glace fondante.

La Conférence émet le vœu que le Gouvernement français veuille bien transmettre cette résolution aux divers États et en recommande l'adoption internationale.

(*Résolution du 29 avril 1884.*)

La Commission recommande la construction d'étalons primaires en mercure conformes à la résolution précédemment adoptée, et concurremment l'emploi d'échelles de résistances secondaires en alliages solides qui seront fréquemment comparées entre elles et avec l'étalon primaire.

L'ampère est le courant dont la mesure absolue est 10^{-1} unité électromagnétique C.G.S.

Le volt est la force électromotrice qui soutient le courant d'un ampère dans un conducteur dont la résistance est l'ohm légal.

(*Résolutions du 2 mai 1884.*)

Deuxième commission. — *Electricité atmosphérique et courants terrestres.* — Il est à désirer que les résultats des observations recueillies par les diverses administrations soient envoyés chaque année au Bureau international des Administrations télégraphiques à Berne, qui en fera un relevé et le communiquera aux gouvernements.

La Conférence émet le vœu que les observations des courants terrestres soient poursuivies dans tous les pays.

(*Résolutions du 2 mai 1884.*)

Troisième commission. — *Etalon de lumière.* — L'unité de chaque lumière simple est la quantité de lumière de même espèce émise en direction normale par un centimètre carré de surface de platine fondu, à la température de solidification.

L'unité pratique de lumière blanche est la quantité totale de lumière émise normalement par la même source.

(*Résolutions du 2 mai 1884.*)

Congrès international des Electriciens. Paris (24-31 août 1889.)

Première section. — *Unités. Mesures.* — L'unité pratique de travail est le *joule.* Il est égal à 10^7 unités C. G. S. de travail. C'est l'énergie dépensée pendant une seconde par un ampère dans un ohm.

L'unité pratique de puissance est le *watt.* Il est égal à 10^7 unités C. G. S. de puissance. Le watt est égal à un joule par seconde.

Dans la pratique industrielle, on exprimera la puissance des machines en kilowatts, au lieu de l'exprimer en chevaux-vapeur.

Pour évaluer l'intensité d'une lampe en bougies, on prendra comme unité pratique, sous le nom de *bougie décimale*, la vingtième partie de l'étalon absolu de lumière défini par la Conférence internationale de 1884.

Deuxième section. — *Applications industrielles.* — L'unité pratique de coefficient d'induction est le *quadrant.*

$$1 \text{ quadrant} = 10^9 \text{ centimètres.}$$

La *période* d'un courant alternatif est la durée d'une oscillation complète.

La *fréquence* est le nombre de périodes par seconde.

L'*intensité moyenne* est définie par la relation.

$$I_{moy} = \int_0^T I\,dt.$$

L'*intensité efficace* est la racine carrée du carré moyen de l'intensité du courant.

La *force électromotrice efficace* est la racine carrée du carré moyen de la force électromotrice.

La *résistance apparente* est le facteur par lequel il faut multiplier l'intensité efficace pour avoir la force électromotrice efficace.

Dans un accumulateur, la plaque positive est celle qui est reliée au pôle positif de la machine pendant la charge, et qui est le pôle positif pendant la décharge.

Le Congrès recommande comme moyen de déterminer le degré d'incandescence d'une lampe la méthode proposée par M. Crova et adoptée par la deuxième Section.

Troisième section. — *Télégraphie, téléphonie, signaux.* — Le double fil est adopté pour les réseaux téléphoniques urbains et les lignes interurbaines.

On désigne par l'appellation d'*interurbaine* toute communication téléphonique donnée entre deux abonnés ou cabines publiques faisant partie de groupes différents.

L'unité de conversation interurbaine est fixée à trois minutes.

(Cette proposition n'est pas adoptée en séance plénière mais conserve sa valeur comme vœu émis par la troisième Section.)

(*Séance du 31 août 1889.*)

Congrès international des électriciens. Chicago (21-25 août 1893).

Résolutions de la Chambre des délégués.

Unités et étalons électriques. — *Résolutions.* — Que les divers Gouvernements représentés par les délégués à ce Congrès recommandent formellement d'adopter comme unités légales de mesure électrique les unités suivantes :

Comme unité de Résistance, l'*Ohm international*, basé sur l'ohm égal à 10^9 unités du système électromagnétique C. G. S., qui est la résistance offerte à un courant électrique constant par une colonne de mercure, à la température de la glace fondante, de 14,4521 grammes-masse, d'une section transversale constante, et d'une longueur de 106,3 cm.

Comme unité de Courant, l'*Ampère international*, égal 0,1 unité électromagnétique C. G. S., suffisamment bien représenté, pour les besoins de la pratique, par le courant constant qui, traversant une solution d'azotate d'argent dans l'eau, conformément aux spécifications ci-jointes, dépose l'argent à raison de 0,0018 par seconde.

Comme unité de Force électromotrice, le *Volt international*, qui est la force électromotrice qui, appliquée d'une manière constante à un conducteur dont la résistance est de 1 ohm international, produit un courant égal à 1 ampère international, représenté avec une exactitude suffisante, pour les besoins de la pratique, par les $\frac{1000}{1434}$ de la force électromotrice de la pile connue sous le nom de *Pile Clark*, à la température de 15° C., et préparée conformément aux spécifications ci-jointes.

Comme unité de Quantité, le *Coulomb international*, qui est la quantité d'électricité transportée par un courant de 1 ampère international pendant 1 seconde.

Comme unité de Capacité, le *Farad international*, qui est la capacité d'un conducteur chargé au potentiel de 1 volt international avec 1 coulomb international.

Comme unité de Travail, le *Joule*, égal à 10^7 unités C. G. S. de travail, représenté avec une exactitude suffisante, pour les besoins de la pratique, par l'énergie dépensée en 1 seconde par ohm international traversé par un courant de 1 ampère international.

Comme unité de Puissance, le *Watt international*, égal à 10^7 unités C. G. S. de puissance, et représenté avec assez d'exactitude, pour les besoins de la pratique, comme la puissance de 1 joule par seconde.

Comme unité d'Induction, le *Henry*, qui est l'induction d'un circuit, lorsque la force électromotrice induite dans ce circuit est égale à 1 volt international et que le courant inducteur varie au taux de 1 ampère par seconde.

Etalon de lumière. — La Chambre des délégués, reconnaissant les grands progrès réalisés par

la lampe-étalon de von Hefner-Alteneck et l'importance des recherches poursuivies au Reichanstalt, reconnaissant que d'autres étalons ont été proposés et sont actuellement à l'essai, que de sérieuses objections sont faites à tous les étalons à flamme libre, ne peut actuellement recommander l'adoption de lampe Hefner ou de lampe au pentane, mais recommande que toutes les nations soient invitées à effectuer des recherches en commun sur des étalons pratiques et bien définis, et sur la réalisation satisfaisante d'une unité absolue.

Notations. — La Chambre des délégués reçoit le Rapport du Comité spécial chargé de l'étude des notations, et décide qu'il soit imprimé comme appendice au Rapport général de la Chambre des délégués. Voici ce rapport :

« La Chambre des délégués recommande l'emploi international, pour les besoins de la pratique, des notations, abréviations et symboles compris dans le tableau ci-joint. »

(Nous ne reproduisons pas ici ce tableau qui, depuis 1898, a subi un certain nombre de modifications et d'améliorations.)

(*Séance du 25 août 1893.*)

Congrès non officiels.

Depuis le Congrès international des Électriciens, tenu à Paris en 1889, il n'y a plus eu de Congrès officiels, et seulement deux Congrès intrenationaux indépendants organisés par des Sociétés savantes, sans aucune intervention de l'État.

Le premier s'est tenu à Francfort, en 1891, le second à Genève, en 1896.

Nous ne croyons pas devoir signaler ici les résolutions votées par ces Congrès, parce que, d'une part, elles n'ont aucun caractère officiel et pourraient être mises à néant par le Congrès international d'électricité de 1900, et parce que, d'autre part, les progrès réalisés par la science et l'industrie électriques pendant cette dernière décade sont si prodigieux, que les décisions prises dans ces congrès devront être reprises, modifiées et considérablement étendues pour satisfaire aux exigences actuelles des savants et des techniciens.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

ACADÉMIE DES SCIENCES

Séance du 6 août 1900.

Sur le poids atomique du baryum radifère, par **Mme Curie**. *Comptes rendus*, t. CXXXI, p. 382-384.

Des déterminations antérieures faites par l'auteur sur du baryum radifère lui avaient donné le nombre 146 pour le poids atomique de ce corps. Ce résultat montrait nettement que le baryum radifère contient un élément ayant un poids atomique plus élevé que le baryum, le poids atomique de ce dernier étant de 137,5.

Récemment, Mme Curie est parvenue à obtenir cet élément, le radium, presque à l'état de pureté complète comme le montre l'étude spectroscopique qu'en a faite M. Demarçay [1]. Mais ce radium était en trop faible quantité pour permettre la détermination du poids moléculaire. Mme Curie a donc dû opérer sur du radium impur ; elle a obtenu 174 environ pour son poids atomique, ce qui met hors de doute que le poids atomique du radium pur est de beaucoup supérieur à celui du baryum.

(*A Suivre*).

[1] *Ecl. Elect.*, t. XXIV, p. 237, 11 août 1900.

Le Gérant : C. NAUD

Tome XXIV. Samedi 25 Août 1900. 7e Année. — N° 34

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

THÉORIE COMPLÈTE DES MOTEURS A COURANTS POLYPHASÉS

Application pratique des formules

Nous avons donné dans deux articles précédents [1] la théorie complète de ces moteurs. Nous allons maintenant appliquer nos formules à un exemple pratique.

Nous possédons les données complètes et les résultats d'essais d'un moteur de 120 chevaux exécuté en 1894, c'est-à-dire à un moment où la théorie de ces machines était très incomplète et où les précédents manquaient complètement pour des moteurs de cette puissance.

Nous allons nous proposer :

1° De vérifier par le calcul le moteur tel qu'il avait été établi ;

2° De calculer plusieurs autres moteurs devant remplir le même objet que le premier mais où les vices de fonctionnement constatés auront disparu. Ces moteurs seront différenciés par la valeur de l'entrefer et la valeur de $\frac{I_0}{I_1}\cos\varphi$;

3° De calculer également un moteur sous une fréquence très différente de façon à montrer l'importance de ces facteurs tant au point de vue du fonctionnement des moteurs eux-mêmes que des génératrices qui les alimentent.

1° Vérification du moteur de 120 chevaux. — Ce moteur avait les caractéristiques suivantes :

$$2p = 14 \quad Eq_1 = 71 \times 3 = 213$$
$$D = 107,8 \quad L = 30 \quad H = 7,15 \quad \delta = 0,20 \quad \Omega = 46,6 \quad K_1 = 0,39 \quad k_1 = 0,96$$
$$n = 124 \quad n' = 98 \quad N_1 = 124 \quad N_2 = 196$$

---

[1] *L'Éclairage Électrique*, t. XXII, p. 448 et t. XXIII, p. 286.

L'inducteur mobile est groupé en triangle et comporte 124 barres de 252 mm² de section logées dans 124 dents. Les barres sont réunies à l'aide de développantes de 245 mm² de section.

L'induit fixe est également groupé en triangle, il comporte 98 tubes de 217 mm² de section dans lesquels sont emmanchées 98 barres de 200 mm² de section.

L'ensemble d'un tube et d'une barre occupe une des 98 dents circulaires de l'induit. Les tubes et les barres sont reliés par 196 développantes de 215 mm² de section.

Supposons *a priori* que le rendement soit égal à 0,9 et le cos φ à 0,73, on aura

$$P = \frac{120 \times 736}{0,9} = 98000 \text{ wats et } E_1 I_1 q_1 = \frac{98000}{0,71} = 134000 \text{ VA}$$

donc l'intensité de régime dans l'inducteur sera

$$I_1 = \frac{E_1 I_1 q_1}{E_1 q_1} = \frac{13400}{213} = 630.$$

On aura pour valeur du nombre total d'ampères-tours sur l'inducteur

$$N_1 I_1 = 124 \times 630 = 78000 \qquad \text{donc } \gamma = \frac{N_1 I_1}{\pi D} = \frac{78000}{3,14 \times 107,8} = 230.$$

Les caractéristiques des dents sont d'après la figure 4 (t. XXIII, p. 290)

$$n = 124 \quad \delta_2 = 0,15 \quad \lambda_2 = 0,5 \quad \delta_1 = 0,2 \quad \lambda_1 = 1,2$$
$$n' = 98 \quad \delta_4 = 0,275 \quad \lambda_4 = 0,3.$$

L'entrefer δ_3 ou δ étant de 0,2.

On aura donc pour valeur du coefficient dont il faut affecter l'entrefer pour tenir compte des petites ouvertures des dents

$$a = \frac{\pi D}{\pi D - n\lambda_2 - n'\lambda_4} = \frac{3,14 \times 107,8}{3,14 \times 107,8 - 124 \times 0,5 - 98 \times 03} = 1,37.$$

Nous pourrons alors calculer la valeur du courant magnétisant à vide qui sera donnée par

$$I_0 = \frac{E_1 q_1 \times p^2 \left(a\delta + 0,0022 \frac{D}{p}\right)}{1,56 \Omega N_1^2 K_1 k_1 DL} \times 10^8 = \frac{213 \times 49 \left(1,37 \times 0,2 + 0,0022 \frac{D}{p}\right) \times 10^8}{1,55 \times 46,6 \times \overline{124}^2 \times 0.39 \times 0,96 \times 107,8 \times 30} = 240.$$

On a également

$$\frac{I_0}{I} \cos \varphi = \frac{P \times p^2 \left(a\delta + 0,0022 \frac{D}{p}\right) \times 10^8}{1,55 K_1 k_1 \Omega N_1^2 I_1^2 \times LD} = \frac{98000 \times 49 \left(1,37 \times 0,2 + 0,0022 \frac{108}{7}\right) \times 10^8}{1,55 \times 0,375 \times 46.6 \times \overline{78000}^2 \times 107,8 \times 30} = 0,28.$$

On a d'autre part

$$\frac{I}{I_0} = \frac{630}{240} = 2,60.$$

Nous pouvons maintenant calculer la valeur du courant induit équivalant au courant de l'inducteur, on aura

$$I^2 = \sqrt{I_1^2 - 2 I_1 I_0 \sin \varphi + I_0^2} = \sqrt{\overline{630}^2 - 2 \times 630 \times 240 \times 0,705 + \overline{240}^2} = 502 \text{ ampères.}$$

La véritable intensité dans chacun des conducteurs de l'induit sera

$$I_2 . \frac{N_1 K_1}{N_2 K_2} = 502 \frac{124 \times 0,39}{198 \times 0,39} = 315 \text{ ampères.}$$

On aura pour valeur des coefficients de fuites de l'inducteur et de l'induit

$$\alpha = \frac{10}{2 k_1 K_1} \cdot \frac{I}{I_0} \frac{p^2}{n D} \left(a\delta + 0,0022 \frac{D}{p} \right) \left(\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2 + \delta}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} \right) =$$

$$= \frac{10}{2 \times 0,375} \times 2,60 \frac{49}{124 \times 108} \times \left(1,37 \times 0,2 + 0,0022 \frac{108}{7} \right) \left(\frac{0,2}{1} + \frac{0,15 + 0,2}{0,5} + \frac{0,3}{0,3} \right) = 0,08.$$

$$\beta = \frac{10}{2 k_1 k_1} \frac{I}{I_0} \frac{p^2}{n D} \left(a\delta + 0,0022 \frac{D}{p} \right) \left(\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2 + \delta}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} \right) =$$

$$= \frac{10}{2 \times 0,375} \times 2,60 \frac{49}{198 \times 108} \times \left(1,37 \times 0,2 + 0,0022 \frac{108}{7} \right) \left(\frac{0,2}{1} + \frac{0,15 + 0,2}{0,5} + \frac{0,3}{0,3} \right) = 0,10.$$

d'où l'on tire $\sigma = \alpha + \beta = 0,08 + 0,10 = 0,18$.

Ceci nous permet de déterminer les conditions de marche en cos φ maximum, on aura

$$\cos \Phi = \frac{1}{1 + 2\sigma} = \frac{1}{1 + 2 \times 0,18} = 0,735$$

et

$$\frac{I}{I_0} = \frac{1}{\sqrt{\sigma}} = \frac{1}{\sqrt{0,18}} = 2,35$$

d'où l'on tire

$$\frac{I_0}{I} \cos \varphi = 0,32.$$

On voit d'après cela que le moteur travaille normalement à un régime supérieur à celui du cos φ maximum, ce dernier aurait lieu pour $I_1 = 560$ ampères.

La valeur maxima du courant utile que pourra utiliser le moteur sera donnée par

$$I \cos \varphi = \frac{I_0 (1 - \alpha)}{2\sigma} = \frac{240 (1 - 0,08)}{2 \times 0,18} = 615 \text{ ampères.}$$

La puissance maxima que pourra absorber l'inducteur sera donc

$$P_{max} = 6,15 \times 71 \times 3 = 132000 \text{ watts.}$$

et sur l'arbre on pourra recueillir

$$\frac{132000}{0,736} \times 0,90 = 160^{chx}.$$

L'induction dans le fer sera donnée par

$$B_n = \frac{0,38 K_1 \frac{I_0}{I} N I D}{I I p^2 \left(a\delta + 0,0022 \frac{D}{p} \right)} = \frac{0,38 \times 0,39 \times 0,37 \times 78000 \times 107,8}{7,15 \times 49 \times \left(1,37 \times 0,2 + 0,0022 \frac{108}{7} \right)} = 4200.$$

L'induction dans l'entrefer sera déterminée par

$$\frac{B_e}{B_n} = 1,26 \frac{IIp}{D} = 1,16 \frac{7,15 \times 7}{107,8} = 0,54,$$

donc $B_e = 0,54 B_n = 2250$.

D'autre part la hauteur du fer de l'induit étant de 6 cm on aura pour l'induction B $= 4300 \frac{7,15}{6} = 5100$.

Nous allons maintenant chercher le rendement du moteur.

Pertes par effet de Joule dans l'inducteur. — On a pour valeur de la spire moyenne $\lambda = a' \mathrm{L} + b' \frac{\mathrm{D}}{p} = 1{,}4 \times 30 + 2{,}4 \frac{107{,}8}{7} = 79$
et pour densité de courant $d = \frac{645}{2{,}52} = 256$.

On aura donc

$$\eta = 20 \times 10^{-7} \times \mathrm{N_1 I_1} \lambda d = 20 \times 10^{-7} \times 78000 \times 79 \times 256 = 3250.$$

Pertes par effet de Joule dans l'induit — On a pour valeur de la spire moyenne $\lambda = 79$ et pour densité de courant $d = \frac{315}{2{,}1}$ en prenant une section moyenne égale à 2,1 cm².

On aura donc pour la valeur de la perte dans l'induit

$$\eta' = 20 \times 10^{-7} \times \mathrm{N_2 I_2} \lambda d = 20 \times 10^{-7} \times 61500 \times 79 \times 150 = 1450.$$

Pertes par hystérésis dans l'inducteur. — Elle sera égale à

$$\frac{0{,}0020 \times \mathrm{B}^{1.6} \times \Omega \times \mathrm{V}}{10^7} = \frac{1340 \times 46{,}6 \times 58000}{10^7} = 360.$$

Perte par courant de Foucault dans l'inducteur. — On aura

$$\frac{16 (a \Omega \mathrm{B})^2 \mathrm{V}}{10^{12}} = \frac{16 (0{,}06 \times 46{,}6 \times 4200)^2 \times 58000}{10^{12}} = 134.$$

Pertes par frottement. — Le poids total de la partie mobile est de 1 780 kg, le diamètre moyen des tourillons est de 0,100 m.

La vitesse circonférentielle sera donc $\frac{0{,}100 \times 3{,}14 \times 400}{60} = 2{,}100$ m.

On pourra admettre pour cette vitesse un coefficient de frottement de 0,04 et on aura pour le travail en kilogrammètres

$$1780 \times 2{,}1 \times 0{,}04 = 150$$

soit environ 1 500 watts.

Rendement total — Les pertes totales seront de 6 694 watts et le rendement de 0,93.

Résultats d'essais. — Il est intéressant de comparer les résultats donnés par le calcul avec ceux qu'on a relevés directement sur le moteur. Nous donnons cette comparaison ci-dessous :

	Calculé	Relevé
Intensité par phase dans l'inducteur	630	620
Courant magnétisant par phase	240	240
Cos φ à 98000 watts	0,735	0,74
σ	0,18	0,175
Puissance de décrochage	160 chx	145 à 150
Rendement au frein	0,93	0,90

2° Calcul d'un moteur de 120 chevaux. — Le moteur que nous venons d'examiner étant incontestablement mauvais, nous allons nous proposer d'en calculer un autre sur les mêmes données, c'est-à-dire ayant les caractéristiques suivantes :

$$2p = 14 \quad \mathrm{E}_1 q_1 = 71 \times 3 = 213 \quad \delta = 0{,}15 \quad \mathrm{K}_1 = 0{,}39 \quad k_1\, 0{,}96 \quad \Omega = 46{,}6.$$

L'inducteur sera également mobile ; l'induit fixe, et les deux seront groupés en triangles.

Nous supposerons *a priori* que l'on peut obtenir $\sigma = 0{,}08$ et l'examen des courbes que nous avons données (t. XXIII, p. 287) nous montrent qu'il sera dans les meilleures conditions quand $\frac{\mathrm{I_0}}{\mathrm{I}} \cos \varphi = 0{,}25$.

Le cos φ maximum qu'on pourra obtenir sera

$$\cos \Phi = \frac{1}{1 + 2\sigma} = \frac{1}{1 + 2 \times 0,08} = 0,86$$

en réalité comme l'examen de la courbe nous montre que l'on ne fonctionne pas tout à fait avec cos φ maximum il ne faudrait guère compter que sur cos $\varphi = 0,85$.

La puissance et le nombre de volt-ampères seront donnés par

$$P = \frac{120 \times 736}{0,92} = 96000 \text{ watts et } E_1 I_1 q_1 = \frac{96000}{0,85} \; 112000 \,.$$

L'intensité de régime dans l'inducteur sera

$$I_1 = \frac{E_1 I_1 q_1}{E_1 q_1} = \frac{112000}{213} = 530 \text{ ampères .}$$

Si nous supposons 9 conducteurs par pôles, nous devrions avoir pour le nombre total de dents $9 \times 14 = 126$.

Mais l'enroulement de l'inducteur étant fait comme un tambour ordinaire de machine à courant continu, nous ne pourrons prendre que 124 ou 128 dents de façon à ce que l'enroulement se ferme. Nous choisirons 128 dents avec une section de conducteur par dent égale à 252 mm².

L'enroulement de l'induit comportera 184 dents avec un conducteur par dent ayant 220 mm² de section.

Les barres de l'induit et de l'inducteur sont reliées par des connexions de même section que celles-ci.

Comme nous avons

$$\frac{I_0}{I_1} \cos \varphi = 25$$

on aura

$$I_0 = \frac{0,25 I_1}{\cos \varphi} = \frac{0,25 \times 530}{0,85} = 156 \text{ ampères.}$$

Nous prendrons *a priori* pour valeur du cœfficient à appliquer à l'entrefer $a = 1,32$ quitte à vérifier si c'est bien la valeur qui convient.

D'autre part nous avons posé pour valeur de la spire moyenne $\lambda = a'L + b' \frac{D}{p}$ nous choisirons la valeur de a' et de b' dans le tableau ci-dessous établi sur un grand nombre de moteurs.

D	a'	b'	$\frac{a'}{b'}$
10	1,9	3,55	0,535
15	1,8	3,30	0,547
20	1,65	3,05	0,547
30	1,53	2,80	0,547
40	1,45	2,65	0,547
60	1,40	2,50	0,560
80	1,40	2,40	0,580
100	1,40	2,40	0,580

Nous pourrons calculer maintenant les dimensions du moteur, on aura

$$D^2 = \frac{a'P \times p^2(a\delta p + 0{,}0011 D)\, 10^8}{b' \times 1{,}55 k_1 K_1 \Omega \frac{I_0}{I} \cos\varphi\, N_1^2 I_1^2} = 0{,}58 \frac{98000 \times 49(1{,}32 \times 0{,}15 \times 7 + 0{,}0011 \times 110) \times 10^8}{1{,}55 \times 0{,}39 \times 0{,}96 \times 46{,}6 \times 0{,}25 \times 68000^2} = 13300,$$

d'où l'on tire $D = 115$.

La largeur sera donnée par

$$\frac{L}{D} = \frac{b'}{a'p} \frac{a\delta + 0{,}0022 \frac{D}{p}}{a\delta + 0{,}0011 \frac{D}{p}} = \frac{1{,}72}{7} \frac{1{,}32 \times 0{,}15 + 0{,}0022 \frac{110}{7}}{1{,}32 \times 0{,}15 + 0{,}0011 \frac{110}{7}} = 0{,}263,$$

d'où l'on tire pour largeur de l'induit

$$L = 0{,}263 \times 115 = 30{,}3.$$

On aura d'autre part pour hauteur du fer de l'inducteur en prenant une induction égale à 4500

$$H = \frac{0{,}38 K_1 \frac{I_0}{I_1} N_1 I_1 D}{B_n p^2 \left(a\delta + 0{,}0022 \frac{D}{p}\right)} = \frac{0{,}38 \times 0{,}39 \times 0{,}29 \times 68000 \times 115}{4500 \times 49 \left(1{,}37 \times 0{,}15 + 0{,}0022 \frac{115}{7}\right)} = 6{,}4.$$

Pour l'induit où la fréquence est très faible on prendra une hauteur de fer de 4 cm seulement correspondant à une induction de

$$4500 \frac{6{,}4}{4} = 7200.$$

L'induction dans l'entrefer sera donnée par

$$B_e = 1{,}16\, B_n \frac{Hp}{D} = 1{,}16 \times 4500 \frac{6{,}4 \times 7}{115} = 2050.$$

L'intensité dans l'induit équivalente à l'inducteur sera donnée par

$$I_2 = \sqrt{I_1^2 - 2 I_1 I_0 \sin\varphi + I_0^2} = \sqrt{540^2 - 2 \times 540 \times 158 \times 0{,}527 + 158^2} = 470.$$

L'intensité réelle circulant dans chacun des conducteurs de l'induit sera

$$I_2 \frac{N_1 K_1}{N_2 K_2} = 470 \frac{128 \times 0{,}39}{184 \times 0{,}39} = 325 \text{ ampères}.$$

Nous pouvons maintenant vérifier la valeur des coefficients de fuite.

Les caractéristiques des dents sont les suivantes :

$$\begin{array}{lllll} n = 128 & \delta_1 = 0{,}2 & \lambda_1 = 0{,}9 & \delta_2 = 0{,}1 & \lambda_2 = 0{,}4 \\ n' = 184 & \delta_3 = 0{,}1 & \lambda_4 = 0{,}2 & & \end{array}$$ Voir t. XXIII, p. 290.

Quant à l'entrefer il est égal à 0,15 comme nous l'avons dit.

On aura alors pour valeur de a

$$a = \frac{\pi D}{\pi D - n\lambda_2 - n'\lambda_4} = \frac{3{,}14 \times 115}{3{,}14 \times 115 - 128 \times 0{,}4 - 184 \times 0{,}2} = 1{,}32.$$

C'est la valeur que nous avions choisie.

Vérifions maintenant la valeur des fuites on aura

$$\alpha = \frac{10}{2k_1k_1} \cdot \frac{I}{I_0} \cdot \frac{p^2}{nD}\left(a\delta + 0{,}0022\,\frac{D}{p}\right)\left(\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2 + \delta}{\lambda_2} + \frac{\delta_4}{\lambda_4}\right)$$

$$= \frac{10}{2 \times 0{,}375} \times 3{,}4\,\frac{49}{128 \times 115} \times \left(1{,}32 \times 0{,}15 \times 0{,}0022\,\frac{115}{7}\right)\left(\frac{0{,}2}{0{,}9} + \frac{0{,}1 + 0{,}15}{0{,}4} \cdot \frac{0{,}1}{0{,}2}\right) = 0{,}047.$$

On trouvera de même

$$\beta = \frac{n}{n'} = 0{,}047\,\frac{128}{184} = 0{,}033$$

d'où

$$\sigma = \alpha + \beta = 0{,}047 + 0{,}033 = 0{,}08.$$

Nous sommes retombés par hasard sur la valeur que nous avions choisie ce qui nous dispense de refaire les calculs.

Le courant utile maximum sera donné par

$$I \cos \varphi = \frac{I_0(1 - \alpha)}{2\sigma} = \frac{158(1 - 0{,}047)}{0{,}16} = 940 \text{ ampères}$$

Sur l'arbre on pourrait donc recueillir

$$\frac{940 \times 213}{0{,}736} \times 0{,}9 = 245 \text{ chevaux},$$

soit un rapport de décrochage de $\frac{245}{120} = 2{,}05$.

C'est bien la valeur indiquée sur les courbes que nous avons données.

Nous allons maintenant chercher le rendement du moteur.

Pertes par effet de Joule dans l'inducteur. — On a comme précédemment

$$\eta = 20 \times 10^{-7} \times N_1I_1 \times \lambda \times d = 20 \times 10^{-7} \times 128 \times 530 \times 82 \times 210 = 2320.$$

Pertes par effet de Joule dans l'induit. — On a

$$\eta' = 20 \times 10^{-7} \times N_2I_2 \times \lambda \times d = 20 \times 10^{-7} \times 184 \times 325 \times 82 \times 148 = 1440.$$

Pertes par hystérésis dans l'inducteur. — On a

$$\frac{0{,}0020 \times B^{1{,}6} \times \Omega \times V}{10^7} = \frac{1400 \times 46{,}6 \times 64300}{10^7} = 420.$$

Pertes par courants de Foucault dans l'inducteur. — On a

$$\frac{16(a\Omega B)^2V}{10^{12}} = \frac{16(0{,}06 \times 46{,}6 \times 4500)^2 \times 64300}{10^{12}} = 164.$$

Pertes par frottement. — Le poids de la partie mobile est de 1930 kg et le diamètre moyen des paliers de, 0,100 m. On aura donc 2,100 m de vitesse et 0,04 de cœfficient de frottement, la perte de travail sera

$$1960 \times 2{,}1 \times 0{,}04 = 164 \text{ kgm}.$$

soit environ 1640 watts.

Rendement total. — Les pertes totales étant de 5984 watts, le rendement sera de

$$\frac{88500}{91484} = 0935.$$

Calcul du rhéostat de démarrage. — Pour calculer le rhéostat de démarrage nous nous reporterons à la courbe IV correspondant à $\sigma = 0{,}08$ (analogue à celle donnée t. XXIII, p. 287 pour $\sigma = 0{,}10$). Nous avons vu que pour le régime normal on fonctionnait avec une valeur $\frac{I}{I_0} = \frac{530}{156} = 3{,}4$ en prenant sur la courbe I l'ordonnée égale à 3,4, nous trouvons sur la courbe IV une ordonnée $y_2 = 3{,}1$ correspondant sur la courbe II à un couple relatif de 3. Supposons qu'on veuille démarrer avec un couple supérieur de 50 p. 100 au couple normal, nous devons prendre sur la courbe II l'ordonnée égale à 4,5 ce qui nous donnera comme ordonnée correspondante sur la courbe I, $\frac{I_1}{I_0} = 5{,}5$ ce qui nous montre immédiatement que le rapport entre l'intensité normale et l'intensité au démarrage sera $\frac{5{,}5}{3{,}4} = 1{,}62$.

L'ordonnée de la courbe IV sera égale à $y_1 = 5{,}5$.

D'après les formules précédentes la valeur de la résistance à intercaler sur le premier plot sera donnée par

$$Z_1 = \frac{q_2 r_2 \frac{N_1^2}{N_2^2} I_0}{E_1 q_1} = \frac{1}{y_1} = \frac{1}{5{,}5} = 0{,}182.$$

On aura de même successivement pour les plots suivants :

$$\begin{array}{ll}
g_1 = 1 & Z_1 = \frac{1}{y_1} = \frac{1}{5{,}5} = 0{,}182 \\
g_2 = \frac{y_2}{y_1} = 0{,}56 & Z_2 = \frac{1}{y_1}\frac{y_2}{y_1} = 0{,}102 \\
g_3 = \left(\frac{y_2}{y_1}\right)^2 = 0{,}315 & Z_3 = \frac{1}{y_1}\left(\frac{y_2}{y_1}\right)^2 = 0{,}057 \\
g_4 = \left(\frac{y_2}{y_1}\right)^3 = 0{,}176 & Z_4 = \frac{1}{y_1}\left(\frac{y_2}{y_1}\right)^3 = 0{,}032 \\
g_5 = \left(\frac{y_2}{y_1}\right)^4 = 0{,}098 & Z_5 = \frac{1}{y_1}\left(\frac{y_2}{y_1}\right)^4 = 0{,}018 \\
g_6 = \left(\frac{y_2}{y_1}\right)^5 = 0{,}055 & Z_6 = \frac{1}{y_1}\left(\frac{y_2}{y_1}\right)^6 = 0{,}010 \\
g_7 = \left(\frac{y_2}{y_1}\right)^6 = 0{,}031. &
\end{array}$$

Sur le 6e plot avec une valeur $Z_6 = 0{,}010$ le glissement sera de 5,5 p. 100 et arrivera progressivement à 3,1 p. 100 quand le moteur aura atteint son régime. On pourra alors faire le court-circuit.

Nous avons d'une manière générale

$$\frac{q_2 r_2 \frac{N_1^2}{N_2^2} I_0}{E_1 q_1} = Z_1$$

d'où l'on tire pour la résistance par phase de l'induit

$$r_2 = Z_1 \frac{E_1 q_1}{q_2 \frac{N_1^2}{N_2^2} I_0} = Z_1 \frac{213}{3\left(\frac{128}{184}\right)^2 \times 256} = 0{,}92\ Z_1$$

ceci nous permettra de remplir le tableau suivant déterminant le rhéostat.

N° DU PLOT	GLISSEMENT	RÉSISTANCE TOTALE par phase dans l'induit	RÉSISTANCE déduction faite de la résistance de l'induit	RÉSISTANCE partielle entre plots	
1	1 à 0,56	0,168 ω	0,1635ω	0,0740 ω	Intensité du courant de l'induit pendant le démarrage. $325\frac{5}{3} = 540$ amp.
2	0,56 à 0,315	0,094	0,0895	0,0410	
3	0,315 à 0,176	0,053	0,0485	0,0230	
4	0,176 à 0,098	0,030	0,0255	0,0120	
5	0,098 à 0,055	0,018	0,0135	0,0080	
6	0,055 à 0,031	0,010	0,0055		
7	0,031 à 0,015	0,0045	plot de court-circuit		

Variantes du moteur précédent. — Nous avons encore calculé trois autres moteurs et le résultat de ce calcul figure dans le tableau de la page suivante.

3° Calcul d'un moteur a 26 périodes. — Nous ne recommencerons pas le calcul pour ce moteur, nous nous sommes bornés à en indiquer les résultats dans la colonne 6 du tableau.

4° Discussion des résultats obtenus. — L'examen comparatif des cinq moteurs portés au tableau va nous conduire à des conclusions de toute première importance et qui, croyons-nous, n'ont pas été suffisamment précisées jusqu'à aujourd'hui.

Commençons par définir ce que nous appellerons le coefficient de mérite d'un moteur.

Nous appellerons coefficient de mérite le rapport entre le travail moyen effectif recueilli sur l'arbre du moteur et le travail moyen apparent demandé à la génératrice.

Donc si P est le travail (en watts) pris sur l'arbre au régime normal et si $\frac{Eq_1(I_1+I_0)}{2}$ est le travail moyen apparent demandé aux bornes on aura pour valeur du coefficient de mérite

$$\frac{\frac{P+O}{2}}{\frac{Eq_1(I_1+I_0)}{2}} = \frac{P}{Eq_1(I_1+I_0)}.$$

Jusqu'à présent il est courant de définir un moteur par son cos φ à charge normale et par son rendement ce qui est à notre avis tout à fait insuffisant car pour un cos φ donné l'on peut avoir des valeurs très différentes du courant magnétisant à vide ce qui pourra beaucoup influer sur la tenue des génératrices de la station centrale quand une partie des moteurs fonctionnera soit à vide soit à faible charge.

Ce n'est pas la seule considération qui doit guider et il est clair que toutes choses égales d'ailleurs un moteur de 1,000 m de diamètre sera placé dans de meilleures conditions au point de vue mécanique avec un entrefer de 0,15 cm qu'avec 0,10 cm.

Aucune de ces deux conditions ne se trouvent habituellement définies dans les marchés et elles sont pourtant capitales ainsi que le montre l'examen du tableau.

On voit en effet que les moteurs 2 et 3 ont respectivement l'un 0,85 et l'autre 0,84 de cos φ. Le premier a un rendement de 0,935 et le deuxième 0,95, ils semblent donc *à priori* peu différents mais l'un a un courant magnétisant de 156 ampères et l'autre 224 ampères, cet inconvénient pour le client se traduit immédiatement par une diminution de 20 p. 100 sur le prix des matières composant le moteur. L'entrefer est de 0,15 dans les deux cas.

Si on compare maintenant les moteurs 4 et 5 qui ont tous les deux un entrefer de 0,1, un cos φ de 0,88 et un rendement de 0,95, on voit que le n° 4 a 145 ampères de courant

Détermination des moteurs a courant polyphasé a 400 tours

		1	2	3	4	5	6
P	Puissance aux bornes de l'inducteur	98000	96000	96000	96000	96000	96000
E_1	Voltage d'une phase de l'inducteur	71	71	71	71	71	71
E_2	Voltage d'une phase de l'induit (au démarrage)						
q_1	Nombre de phases de l'inducteur	3	3	3	3	3	3
q_2	Nombre de phases de l'induit	3	3	3	3	3	3
$2p$	Nombre de pôles	14	14	14	14	14	8
	Nombre de tours						
Ω	Fréquence	46,6	46,6	46,6	46,6	46,6	26,6
N_1	Nombre total de conducteurs de l'inducteur	124 $s = 2,52$	128 $s = 2,52$	128 $s = 2,52$	128 $s = 2,52$	128 $s = 2,3$	126 $s = 2,3$
n_1	Nombre de dents de l'inducteur	124	128	128	128	128	126
N_2	Nombre total de conducteurs de l'induit	196 $s = 2,1$	184 $s = 2,2$	184 $s = 2,2$	184 $s = 2,2$	184 $s = 2,0$	182 $s = 2,0$
n_2	Nombre de dents de l'induit	98	184	184	184	184	182
D	Diamètre d'alesage	107,8	115	96,5	97	85,5	78,5
L	Largeur de l'inducteur	30	30,3	25,4	26	23	37
H	Hauteur du fer, inducteur	7,15	6,4	8	7,05	8,9	8,4
	Hauteur du fer, induit	6,00	4	5	4,4	5,5	5,5
δ	Entrefer	0,2	0,15	0,15	0,1	0,1	0,15
δ_1	Caractéristique des dents	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
δ_2		0,15	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
δ_3		0,275	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
λ_1		1,2	0,9	0,9	0,9	0,9	0,75
λ_2		0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
λ_3		0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
α ($\alpha + \beta = \sigma$)	Coefficient de fuite de l'inducteur	0,08	0,047	0,0425	0,0392	0,0305	0,0236
β	Coefficient de fuite de l'induit	0,10	0,033	0,0295	0,0273	0,0212	0,0165
K_1	Coefficient dépendant du nombre de dents par champ de l'inducteur	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39
k_1		0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96
K_2	Coefficient dépendant du nombre de dents par champ de l'induit	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39
k_2		0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96
a	Coefficient de majoration à appliquer à l'entrefer	1,32	1,32	1,47	1,38	1,4	1,52
I_0	Courant magnétisant à vide	240	156	224	145	202	133
I_1	Intensité totale dans l'inducteur	630	530	536	512	510	490
$I_2 \frac{N_2}{N_1}$	Intensité totale dans l'induit	315	325	317	320	313	316
Cos φ		0,735	0,85	0,84	0,88	0,885	0,92
$\frac{I_0}{I}$ cos φ		0,28	0,25	0,35	0,25	0,35	0,25
B_n	Induction dans le fer, inducteur	4200	4500	4500	4500	4500	6.500
	Induction dans le fer, induit	5100	7200	7200	7200	7200	10000
B_e	Induction dans l'entrefer	2250	2050	3000	2800	3800	3170
EIq_1 cos φ max.	Puissance maxima que peut absorber l'inducteur	132 000 w.	200 000 w.	310 000 w.	223 700	377 000	389 000
	Rapport de décrochage	1,33	2,05	3,24	2,28	4,27	4.12
g	Glissement en pour cent	1,48	1,5	1,22	1,27	1,16	1.5
r_1	Résistance ohmique par phase, inducteur	0,0026	0,00275	0,0023	0,00235	0,0023	0,0029
r_2	Résistance ohmique par phase, induit	0,0049	0,00455	0,0039	0,00395	0,0038	0.0048
λ	Longueur moyenne d'une spire	79	82	69	70	62	79
d	Densité de courant dans les conducteurs, inducteur	256	210	214	200	220	212
	Densité de courant dans les conducteurs, induit	150	148	144	146	156	158
η	Pourcentage de pertes par effet Joule, inducteur	3,7	2,6	2,25	2,1	2,05	2.4
	Pourcentage de pertes par effet Joule, induit	1,64	1,63	1,32	1,38	1,26	1.63
	Rendement	0,93	0,935	0,95	0,95	0,955	0.94
	Poids utile	1910	1955	1545	1555	1365	1735
	Poids total	5380	5360	4310	4580	3500	4940
	Prix total des matières	4420	4495	3755	3955	3095	4105
	Coefficient de mérite	0,47	0,61	0,545	0,63	0,58	0,665
	Pertes en watts Joule, inducteur	3250	2390	2000	1850	1800	2100
	Pertes en watts Joule, induit	1450	1440	1170	1220	1120	1440
	Pertes dans le fer hystérésis	360	420	515	380	232	428
	» pour cent	134	164	122	148	105	110
	Frottement (coefficient 0,04)	1500	1640	1220	1370	1050	1500
		6694	5984	5027	4968	4307	5578

magnétisant et le n° 5 202 ampères, aussi ce dernier procure-t-il une économie de 28 p. 100 sur le prix des matières.

Il est encore plus intéressant de comparer comme ci-dessous le n° 2 et le n° 5.

	N° 2	N° 5	N° 6
Cos φ	0,84	0,885	0,92
Rendement	0,935	0,955	0,94
Courant à charge normale	530	510	490
Courant magnétisant	156 amp.	202 amp.	133 amp.
Entrefer	0,15	0,10	0,15
Prix des matières	4500	3100	4100
Coefficient de mérite	0,61	0,58	0,665

Il est certain que beaucoup de gens choisiront *à priori* le moteur n° 5 sur le vu de l'avantage apparent d'un cos φ et d'un rendement plus élevé. Ce moteur sera également 1 400 fr meilleur marché que le n° 2, mais a presque tous les régimes sauf au régime normal il nécessitera la mise en route d'un générateur plus puissant.

Au point de vue mécanique il est également plus mauvais car la moindre usure dans les paliers ou le moindre défaut de réglage dans l'entrefer auront vite fait de créer des dissymétries importantes dans l'entrefer engendrant ainsi des attractions magnétiques qui se reporteront sur les paliers.

Si maintenant nous comparons le moteur n° 2 établi pour 46,6 périodes avec le n° 6 établi pour 26,6 périodes et tournant tous les deux à 400 tours, nous voyons que pour un même entrefer de 0,15 et pour une même valeur de $\frac{I_0}{I}\cos\varphi$ leurs caractéristiques sont très différentes, nous les avons résumées dans le tableau ci-dessus. On voit que le moteur à 26,6 périodes est bien meilleur que celui à 46,6 tout en étant moins coûteux. Il y a donc tout intérêt à faire les transports de force à basse fréquence comme l'on commence à en être de plus en plus convaincu.

5° *Comparaison des moteurs triphasés, biphasés et monophasés.* — Il est intéressant de comparer le résultat donné par le calcul pour des moteurs de ces différents types établis dans les mêmes conditions.

Remarquons d'abord que si l'on considère trois moteurs de même puissance respectivement construits pour courants triphasés, biphasés et monophasés, le poids du fer sera proportionnel à DL $[H_1 + H_2]$ où D représente le diamètre, L la largeur, H_1 et H_2 la hauteur du fer dans l'inducteur et dans l'induit.

Or si on se reporte à l'expression du diamètre

$$D^4 = 0{,}0355\,\frac{P \times p^2(a\delta p + 0{,}0011\,D)}{k_1 K_1 \Omega \frac{I_0}{I}\cos\varphi\,\gamma^2} \times 10^8$$

on voit que toutes choses égales d'ailleurs et pour une même valeur de γ (ampères-conducteurs par cm) le diamètre calculé variera comme

$$\frac{1}{\sqrt[4]{k_1 K_1}}$$

d'autre part

$$\frac{L}{D} = \frac{b'}{a'p}\,\frac{a\delta + 0{,}0022\,\frac{D}{p}}{a\delta + 0{,}0011\,\frac{D}{p}}$$

donc L variera également comme

$$\frac{1}{\sqrt[4]{k_1 K_1}}$$

pour la hauteur on a

$$H = \frac{1,2 K_1 \frac{I_0}{I} \gamma D^2}{B_n p^2 \left(a\delta + 0,0022 \frac{D}{p}\right)}$$

donc pour les mêmes inductions cette hauteur variera proportionnellement à K_1. Il en résulte que le produit LD $(H_1 + H_2)$ sera proportionnel à

$$\frac{K_1}{\sqrt{k_1 k_1}} \quad \text{ou a} \quad \sqrt{\frac{K_1}{k_1}}$$

c'est une quantité constante et le volume du fer reste le même.

En ce qui concerne le cuivre rappelons-nous qu'on avait trouvé pour le volume du cuivre de l'induit ou de l'inducteur

$$V = \frac{N I \lambda}{d} = \frac{\gamma \pi D \left(a'L + b' \frac{D}{p}\right)}{d}$$

qui pouvait également s'écrire

$$V = 20 \times 10^{-7} N^2 I^2 \lambda^2 \frac{1}{\eta} = 20 \times 10^{-7} \gamma^2 \pi^2 D^2 \left(a'L + b' \frac{D}{p}\right)^2 \frac{1}{\eta}$$

il en résulte que pour une même densité de courant d le volume du cuivre varie comme

$$\frac{1}{\sqrt{k_1 K_1}}$$

et pour un même pourcentage de perte n comme

$$\frac{1}{k_1 K_1}$$

Voyons maintenant ce qui se passe en ce qui concerne les fuites, on a trouvé que α et β étaient proportionnels à

$$\frac{10}{2 k_1 K_1} \frac{I}{I_0} \frac{p^2}{n D}.$$

Si l'on suppose que le nombre de dents n et que $\frac{I}{I_0}$ est la même pour les trois moteurs on voit que les cœfficients de fuite varient comme

$$\frac{\sqrt[4]{k_1 K_1}}{k_1 K_1}$$

ceci ne sera pas tout à fait exact car si $\frac{I}{I_0}$ cos φ est constant $\frac{I}{I_0}$ ne l'est pas.

Il faudra donc pour arriver au résultat exact calculer une première valeur de σ en supposant que $\frac{I}{I_0}$ est constant on en déduira une valeur du cos φ maximum $\frac{1}{1 + 2\sigma}$ avec laquelle on déterminera une nouvelle valeur de $\frac{I}{I_0}$ qui permettra de recalculer exactement σ et cos φ.

On pourra évaluer également I_0 qui est proportionnel à $\frac{1}{\cos^2 \varphi}$ et le rapport de décrochage qui est proportionnel à $\frac{1 - \frac{\sigma}{2}}{2\sigma \cos^2 \varphi}$.

C'est de cette manière que nous avons calculé les valeurs relatives contenues dans le tableau suivant.

Caractéristiques des divers moteurs polyphasés.

		TRIPHASÉ	DIPHASÉ	MONOPHASÉ
Diamètre d'alésage		1	1,03	1,23
Largeur de l'induit		1	1,03	1,23
Hauteur du fer		1	0,94	0,67
Poids du fer		1	1	1
Poids du cuivre	à densité égale de courant	1	1,05	1,5
	pour le même rendement	1	1,12	2,3
Valeur relative de σ	$\sigma = 0,08$ en triphasé	1	1,08	1,68
Cos φ	»	0,86	0,85	0,79
Courant magnétisant	»	1	1,03	1,18
Valeurs relatives des rapports de décrochage	»	1	0,95	0,68
Valeur relative de σ	$\sigma = 0,05$ en triphasé	1	1,08	1,72
Cos φ	»	0,91	0,90	0,85
Courant magnétisant	»	1	1,03	1,16
Valeurs relatives des rapports de décrochage	»	1	0,95	0,66

L'examen des chiffres ci-dessus nous montre que le moteur diphasé sera un peu plus coûteux que le moteur triphasé, de plus il sera un peu moins bon. Quant au moteur monophasé il sera très sensiblement inférieur aux deux précédents à tous les points de vue.

Nous croyons avoir donné ci-dessus la théorie complète des moteurs polyphasés en terminant nous devons résumer les règles générales sur lesquelles on devra se baser pour calculer un moteur.

1° Réduire l'entrefer au minimum compatible avec un bon fonctionnement mécanique;

2° Choisir pour le σ du moteur une valeur de $\frac{I_0}{I}$ cos φ aussi grande que possible et légèrement au delà du régime correspondant au cos φ maximum. Plus cette valeur sera grande et plus le moteur sera petit sans que pour cela le cos φ au régime normal en soit sensiblement affecté. Il est vrai que le courant à vide augmentera, mais jusqu'ici on ne s'est pas montré très exigeant sur ce point que nous n'avons jamais vu inscrit dans les contrats de fourniture;

3° Choisir pour l'inducteur et pour l'induit un nombre de dents aussi grand que possible et étudier la forme de ces dents de façon à réduire au minimum les valeurs de α et de β données par les formules. Il faudra réduire autant que possible les quantités δ_1, δ_2, δ_4, le bon fonctionnement du moteur en dépend en grande partie;

4° Mettre sur le moteur le plus grand nombre d'ampères conducteurs possible tout en déterminant les dimensions par les formules ci-dessus.

Quelques fautes d'impression s'étant glissées dans nos deux premiers articles, nous avons vérifié celui-ci avec le plus grand soin de façon à ce que l'on puisse se servir des formules qui y sont contenues.

Georges GILES.

CONGRÈS INTERNATIONAL D'ÉLECTRICITÉ [1]

Nous donnerons dans le prochain numéro le compte rendu des séances; nous reproduisons ci-dessous quelques-uns des rapports qui ont été distribués à la séance d'ouverture de samedi dernier.

COMMUTATRICES ET TRANSFORMATEURS REDRESSEURS, par P. Janet, professeur adjoint à la Faculté des Sciences de l'Université de Paris, directeur du Laboratoire central et de l'École supérieure d'Électricité.

Le problème de la transformation des courants alternatifs en courants continus ou, plus exactement, des forces électromotrices alternatives en forces électromotrices continues, se trouve à la base même de l'Electrotechnique, car il est résolu par le merveilleux outil qu'on appelle le *Collecteur Gramme;* mais ce n'est que depuis peu d'années qu'il a pris en lui-même une place importante dans les préoccupations des électriciens : il s'est posé d'une manière inévitable le jour où se sont développés les transports à longue distance et, par suite, l'usage des hautes tensions. La facilité de produire ces hautes tensions au moyen du courant alternatif a fait de ce courant la forme par excellence pour la transmission de l'énergie électrique; mais, dans bien des cas, le courant continu est resté la forme par excellence pour l'utilisation de cette énergie; les opérations électrolytiques et la charge des accumulateurs l'exigent absolument ; l'éclairage par arc est incomparablement meilleur avec lui. Malgré les remarquables progrès des alternomoteurs, les moteurs à courant continu restent dans bien des cas, la traction, par exemple, les plus employés; l'incandescence seule n'a pas de préférence. Dans ces conditions, l'intransigeance, que nous avons connue, des partisans exclusifs du courant continu ou du courant alternatif s'est émoussée; les premiers, tout en continuant à admirer comme il convient les beaux transports réalisés par courants continus à haute tension, ont dû s'incliner devant la puissance incontestable des réseaux polyphasés à longue portée, qui se développent de tous côtés; les seconds, forcés de satisfaire aux exigences légitimes des tramways, des arcs, ou simplement des anciennes usines à courant continu destinées à devenir de simples sous-stations, ont été amenés, par la force des choses, à essayer de transformer leur énergie première alternative en énergie plus marchande, et le résultat de cette évolution, déjà historique, fut la création des appareils dont le Congrès aura à discuter les mérites et les inconvénients.

Nous les rattacherons à quatre groupes principaux :

1° Redresseurs électrolytiques;
2° Appareils de simple commutation ;
3° Commutatrices ou convertisseurs ;
4° Transformateurs redresseurs.

I. — Redresseurs électrolytiques. — Ces appareils reposent sur les propriétés spéciales des électrodes d'aluminium; lors que l'une des électrodes d'un voltamètre est formée d'une plaque d'aluminium, l'autre étant faite d'un métal quelconque, le courant passe sans difficulté si l'électrode d'aluminium est négative; il est arrêté presque entièrement si elle est positive; on peut attribuer ce fait à la formation, dans le dernier cas, d'une mince couche d'alumine; un tel voltamètre peut supporter, sans laisser passer le courant, une différence de potentiel de 20 volts en liqueur acide, et cette tension limite peut monter jusqu'à 140 volts en liqueur alcaline. Il est facile d'imaginer immédiatement des dispositions propres à utiliser cette propriété pour le redressement des courants alternatifs, ou, ce qui revient au même, pour la réalisation de véritables clapets électriques.

[1] Voir *L'Éclairage Électrique* du 18 août 1900, p. 275.

Jusqu'à quel point cette solution du problème est-elle industrielle ? Peut-on, par ce procédé, espérer transformer des puissances un peu notables ? Quel serait le rendement de cette transformation ? Telles sont les questions qu'il serait intéressant d'examiner.

II. — Appareils de simple commutation. — Un commutateur ordinaire, manœuvré au synchronisme avec le courant qu'il s'agit de redresser, donne évidemment une solution simple du problème qui nous occupe : mais la production d'étincelles abondantes, dès que l'intensité du courant à redresser est un peu notable, constitue la principale difficulté que l'on rencontre dans cette voie. Malgré les artifices ingénieux qui ont été imaginés pour les éviter, comme, par exemple, d'inverser le courant au moment précis où il s'annule, il ne semble pas qu'on puisse espérer beaucoup de cette méthode un peu terre à terre.

III. — Commutatrices ou convertisseurs. — La transformation des courants alternatifs simples ou polyphasés en courants continus peut évidemment s'obtenir par l'accouplement direct d'un moteur à courant alternatif avec une génératrice à courant continu ; si le moteur est un moteur synchrone, ses inducteurs sont semblables à ceux de la génératrice à courant continu ; il est donc possible de les confondre en un seul système, et de réunir sur un même induit l'enroulement à courants alternatifs et l'enroulement à courant continu. Poussant encore plus loin la simplification, on peut, enfin, confondre en un seul les deux enroulements induits, et nous arrivons ainsi à la commutatrice ou convertisseur dont l'inducteur est excité en courant continu, et dont l'induit unique reçoit d'un côté, au moyen de bagues et de frotteurs, un courant alternatif simple ou polyphasé, et restitue de l'autre, au moyen d'un collecteur et des balais ordinaires, un courant continu. Il est intéressant d'examiner ces machines au point de vue de l'utilisation des matériaux, du rendement et du fonctionnement.

Au point de vue de l'utilisation des matériaux, il est évident que par l'usage des commutatrices on économise un système inducteur sur deux, sans en modifier sensiblement les dimensions, ou même en les réduisant ; il y a donc tout avantage de ce côté. En ce qui concerne l'induit, il est évident aussi que le poids de cuivre immobilisé sera certainement inférieur à la somme des poids de cuivre portés par un moteur à courant alternatif et par une génératrice à courant continu ; cela provient de ce que les intensités respectives des courants continu et alternatif s'ajoutant *algébriquement* dans le fil induit, la chaleur Joule totale en est diminuée, ce qui, si on le veut, permet une économie sur le cuivre.

Il est intéressant de pousser plus loin la discussion en comparant la puissance maximum d'une même machine fonctionnant successivement comme génératrice à courant continu ou comme commutatrice. L'avantage, très léger d'ailleurs, est à la génératrice à courant continu s'il s'agit d'une commutatrice monophasée ; mais, dès qu'il s'agit de courants polyphasés, la commutatrice reprend un avantage très marqué, et d'autant plus marqué que le nombre de phases est plus élevé. C'est ainsi qu'une commutatrice diphasée (ou plutôt à quatre phases) l'emporte sur une commutatrice triphasée, et une commutatrice à six phases sur une commutatrice à quatre phases ; l'avantage est tel que, à poids de matière égale, une même machine peut être environ deux fois plus puissante si elle fonctionne comme commutatrice hexaphasée que si elle fonctionne comme génératrice à courant continu ; et, dans le même ordre d'idées, une commutatrice hexaphasée peut avoir, à poids de matière égal, une puissance maximum plus grande de près de 50 p. 100 qu'une commutatrice triphasée. On a donc intérêt à augmenter le plus possible le nombre des phases utiles ; à ce point de vue, des artifices ingénieux, et qu'il serait trop long de rappeler ici, permettent très facilement de passer de trois phases à six phases, et, s'il était nécessaire, il serait possible de pousser encore plus loin cette multiplication des phases au moyen d'appareils purement statiques.

Au point de vue du rendement, il est évident que, à un premier examen, l'avantage est à la commutatrice sur le groupe moteur-générateur ; en admettant dans ce dernier cas des rendements de 0,90 pour chacune des deux machines, le rendement total de la transformation sera de 0,81. Une commutatrice pourra avoir un rendement de 0,90 ; elle sera même dans de meilleures condi-

tions qu'une génératrice, puisque, à puissance égale et à induction égale, le poids de son induit sera plus faible et, par conséquent, plus faibles aussi les pertes par hystérésis. Mais il faut ajouter qu'une commutatrice s'emploie rarement seule ; il faut lui adjoindre un transformateur convenable qui ramène à une tension donnée la haute tension du réseau, tandis que, au moins pour des moteurs d'une certaine puissance, on peut leur appliquer directement cette haute tension. Il est donc juste de comparer l'ensemble : transformateur-commutatrice à l'ensemble : moteur-génératrice ; mais, étant donné le rendement élevé des transformateurs, même ainsi l'avantage reste à la commutatrice. Cela suppose toutefois que les conditions de fréquence imposées permettent de réaliser une machine suffisamment rationnelle, ce qui n'arrive pas toujours.

Au point de vue du fonctionnement, la commutatrice impose un rapport sensiblement constant entre les tensions alternatives et continues, ce qui peut être parfois une gêne ; elle présente l'avantage général des moteurs synchrones au point de vue des avances de phases qu'elle peut produire dans un réseau, mais elle a une tendance à renforcer les harmoniques peu élevés, ce qui pourrait devenir grave si la puissance transformée était une fraction importante de la puissance totale produite, et surtout si la canalisation était souterraine.

La réaction d'induit est peu élevée dans la commutatrice : cela dépend de ce que dans les commutatrices polyphasées, le couple étant nul, les flux propres de l'induit produits par les courants alternatifs et par les courants continus doivent être égaux et opposés et par conséquent se détruisent. Dans les commutatrices monophasées, ceci est encore vrai en partie ; mais il subsiste un flux tournantde fréquence 2 qui ondule la tension recueillie aux balais.

IV. — Transformateurs-redresseurs. — On peut admettre que la commutatrice procède par deux étapes successives : 1° elle transforme des forces électromotrices données, à petit nombre de phases (six au plus dans la pratique) en forces électromotrices à grand nombre de phases dans les sections successives de l'anneau Gramme ; 2° le collecteur transforme, à la manière ordinaire, ces forces électromotrices à très grand nombre de phases en différence de potentiel continue. Ces deux *opérations* n'ont pas le même caractère : la première met en jeu des variations de flux dans un circuit magnétique dont les dimensions et, par suite, le poids dépendent de la puissance à transformer ; la seconde est une opération de commutation, ou plutôt d'addition, le collecteur Gramme, considéré à un point de vue un peu élevé, étant simplement un organe destiné à réaliser physiquement l'opération algébrique de l'addition de forces électromotrices polyphasées : les dimensions de ce second appareil sont évidemment très réduites par rapport à celles du premier.

Or il est possible de réaliser la première transformation (forces électromotrices à petit nombre de phases en forces électromotrices à grand nombre de phases) au moyen d'appareils entièrement immobiles et tout à fait comparables aux transformateurs statiques usuels. Par cet artifice, la partie tournante sera réduite au collecteur des commutatrices ordinaires. Mais il faudra conduire aux touches successives de ce collecteur les potentiels polyphasés recueillis aux bornes, en nombre égal, du transformateur de phases : d'où la nécessité d'un nombre égal encore de bagues portées sur le même axe que le collecteur et de balais frottant sur ces bagues, à moins que l'on ne consente inversement à laisser le collecteur fixe et à faire tourner les balais.

Nous pouvons considérer ces appareils aux trois mêmes points de vue que les commutatrices.

1° Au point de vue de l'utilisation des matériaux, il est évident que, par l'artifice du transformateur-redresseur on supprime purement et simplement les systèmes inducteur et induit de la commutatrice, puisque le transformateur statique doit exister dans tous les cas. Il serait intéressant, à ce point de vue, de comparer un transformateur statique ordinaire avec un transformateur de phases ; il est bien probable que, pour une même puissance et des conditions de marche analogue, les poids de ces appareils différeraient peu. Pour que la comparaison soit complète, il faut d'ailleurs tenir compte de la nécessité d'un petit moteur synchrone destiné, dans le cas du transformateur-redresseur, à mettre en mouvement le collecteur.

2° Au point de vue du rendement, le système de transformateur-redresseur économise une partie des pertes par hystérésis et par courants de Foucault en supprimant les variations de flux

dans un induit tournant; il introduit, il est vrai, un petit moteur en plus, néanmoins il semble que l'avantage doit lui rester.

3° Au point de vue du fonctionnement, il est évident que, pour les mêmes raisons que dans le cas d'une machine à courant continu, il y aura avantage à sectionner le plus possible le collecteur, c'est-à-dire à multiplier le plus possible le nombre des phases. Lorsque les balais sont fixes, cela conduit à multiplier d'une manière exagérée le nombre des bagues et des frotteurs et, par suite, la longueur de la partie tournante : l'avantage, ici, semble rester à la commutatrice, dans laquelle ce sectionnement ne présente aucune difficulté, à moins que l'on ne consente à laisser le collecteur fixe et à faire tourner les balais, ce que la pratique n'a pas encore sanctionné.

En résumé, trois systèmes vraiment pratiques sont en présence pour la solution du problème qui nous occupe : moteurs-générateurs, commutatrices, transformateurs-redresseurs ; il serait intéressant d'avoir des données précises permettant la comparaison de ces trois systèmes au point de vue de la pratique.

SUR L'EMPLOI DES CONDENSATEURS, par P. Boucherot

Les applications possibles des condensateurs, en dehors de celles ayant trait aux méthodes de mesure de laboratoire, dont nous ne parlerons pas, peuvent se diviser en deux catégories : les applications dans lesquelles les énergies en jeu sont de minime importance, dans lesquelles, par conséquent, le prix de l'appareil n'intervient pas sensiblement, et celles qui, au contraire, exigent des condensateurs emmagasinant des quantités importantes d'énergie, dans lesquelles on est conduit à faire travailler le diélectrique sous une pression intense, de manière à réduire, autant que possible, le prix de l'appareil, qui entre en ligne de compte d'une façon sensible dans l'ensemble de l'installation.

Des applications de la première catégorie, nous ne dirons que peu de chose, car elles sont trop connues, quelques-unes célèbres.

Nous citerons seulement l'application qu'en a faite Foucault à la bobine de Ruhmkorff ; les applications à la télégraphie, à la télégraphie et téléphonie simultanées, à la télégraphie à distance par induction, à la production des courants de haute fréquence, à la télégraphie sans fils à grande distance, etc.

Toutes ces applications ont pu être mises à exécution sans obstacles du fait du condensateur lui-même, celui-ci étant facile à réaliser dans ces conditions.

Il n'en est pas de même de la seconde série d'applications : les applications aux courants alternatifs industriels, qui, jusqu'ici, n'ont pu se faire en grand par suite de difficultés sur lesquelles nous nous étendrons plus loin.

Toutes les applications des condensateurs aux courants alternatifs industriels peuvent être considérées comme des conséquences de la résonance électrique, et, par conséquent, de la décharge ou de la charge oscillante.

Lorsqu'on décharge un condensateur possédant une certaine charge électrique dans une résistance ayant de la self-induction, le courant de décharge passe par une série de valeurs comparables à celles par lesquelles passe la vitesse angulaire d'un pendule plongé dans un milieu visqueux et revenant à sa position d'équilibre.

Si C est la capacité du condensateur, L le coefficient de self-induction du circuit de décharge, R la résistance du circuit, la décharge est continue pour $R^2 > \frac{4L}{C}$, c'est-à-dire que le courant de décharge qui a, au premier moment de la fermeture du circuit, une certaine valeur, diminue jusqu'à zéro sans passer par des valeurs négatives. Le cas correspond alors à celui d'un pendule de faible inertie dans un milieu très visqueux ; le pendule revient à sa position d'équilibre sans la dépasser.

La décharge est, au contraire, oscillante pour $R^2 < \frac{4L}{C}$, c'est-à-dire que le courant de décharge

ne devient nul qu'après une série d'oscillations, autrement dit après avoir passé par une série de valeurs positives et négatives. Le cas correspond alors à celui d'un pendule ordinaire dans l'air : il revient à sa position d'équilibre après une série plus ou moins longue d'oscillations.

Le temps périodique de la décharge est constant, c'est-à-dire que le temps qui s'écoule entre deux valeurs nulles de l'intensité est le même au commencement ou à la fin de la décharge ; il ne dépend pas, par conséquent, de la valeur propre de la décharge électrique et a pour expression analytique

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}}.$$

Dans le cas particulier et exclusivement théorique où la résistance du circuit est nulle, le temps périodique devient $T = 2\pi\sqrt{LC}$, formule qui rappelle singulièrement celle du temps périodique d'oscillation d'un pendule dans le vide. Dans ce cas, l'énergie emmagasinée primitivement dans le condensateur ne pouvant pas se dissiper, puisqu'il n'y a pas de résistance et, par conséquent, pas de RI^2, la décharge dure indéfiniment, c'est-à-dire que, indéfiniment, il existe dans le circuit un courant alternatif de période $T = 2\pi\sqrt{LC}$. C'est évidemment un cas tout à fait théorique, puisque l'on suppose $R = 0$ et que cela est impossible à faire.

Mais, s'il n'est pas possible de faire $R = 0$, il est facile de compenser constamment la perte d'énergie RI^2 par l'introduction, dans le circuit, d'une source de courant très faible vis-à-vis de l'énergie en jeu dans le circuit. Cette source d'énergie ou cette force électromotrice, si l'on veut que le courant alternatif soit toujours le même, c'est-à-dire si l'on veut que les amplitudes des oscillations du courant soient indépendantes du temps, devra nécessairement être de même période que le courant alternatif dû au circuit formé par le condensateur et la self-induction, ou circuit résonateur, c'est-à-dire que le temps périodique de la force électromotrice devra être $T = 2\pi\sqrt{LC}$.

S'il en est ainsi, il y aura *résonance*, par analogie avec les phénomènes d'acoustique ; le circuit ne résonnera que pour le courant de fréquence correspondant à $T = 2\pi\sqrt{LC}$, autrement dit, pour ce courant seul, la loi d'Ohm pourra être appliquée sans tenir compte des forces électromotrices d'induction ou de capacité.

Remarquons que cette force électromotrice peut être introduite d'une manière quelconque dans le circuit, soit par l'introduction directe d'induit de machine, soit par induction mutuelle, soit par variations périodiques d'énergies potentielles, etc. De là toutes sortes d'applications possibles.

Nous examinerons les plus importantes et, pour éviter des répétitions, nous dirons dorénavant qu'un condensateur et une self-induction sont ajustés lorsqu'il y aura entre eux la relation $\frac{4\pi^2}{T}LC = 1$.

1° *Condensateur en série.* — Ouvrons notre circuit résonateur et relions aux extrémités libres une source de courant alternatif, par exemple un alternateur dont la période soit justement $T = 2\pi\sqrt{LC}$. Dans ces conditions, l'intensité qui passera dans le circuit sera exactement celle qui passerait s'il n'y avait que la résistance, c'est-à-dire si la self-induction et la capacité se trouvaient supprimées tout simplement. C'est ce que l'on traduit aujourd'hui couramment en disant que la capacité annule les effets de la self-induction, lorsqu'elle est convenablement ajustée avec celle-ci. Et, détail curieux, alors que nous aurons, par exemple, 100 volts aux bornes de notre circuit, c'est-à-dire reproduits par l'alternateur, nous pourrons parfaitement avoir 1 000 ou 10 000 volts aux extrémités de la bobine de self-induction ou entre les armatures du condensateur, par suite de la grande quantité d'énergie qui peut être emmagasinée dans chacun de ces appareils en comparaison de celle fournie par l'alternateur pendant une période.

Le condensateur peut donc servir à annuler les effets de la self-induction dans un circuit. Veut-on, par exemple, faire passer dans un circuit une intensité plus grande que celle que sa self-induc-

tion laisse passer avec la tension dont on dispose ; il suffit d'intercaler un condensateur convenable.

Cette propriété a été appliquée dans certains moteurs à courant alternatif simple pour l'excitation des inducteurs et peut être appliquée utilement chaque fois que l'on veut produire un champ magnétique alternatif sans que la puissance apparente fournie à l'appareil dépasse de beaucoup la puissance réelle dépensée par l'effet Joule, et sans être obligé d'avoir une force électromotrice plus grande que celle correspondant à la chute ohmique du circuit d'excitation.

2° *Condensateur en dérivation.* — Refermons notre circuit résonateur comme il était primitivement et plaçons maintenant une autre source de courant en dérivation sur le condensateur, par exemple. Cette source devra être de même fréquence que la première. Dans ces conditions, l'intensité que débitera l'alternateur dans le condensateur, et celle qu'il débitera dans la self-induction et la résistance pourront être, chacune, très supérieures à leur somme, c'est-à-dire au courant total débité par l'alternateur dans les deux circuits ; celui-ci sera strictement égal à celui qui, sous la tension de l'alternateur, donnerait une puissance égale à l'effet Joule, alors que chacun des courants dérivés sera plus grand par suite de la superposition à celui-ci du courant de résonance.

Cette autre propriété peut recevoir de nombreuses applications.

Elle permet de réduire au moyen des condensateurs les courants magnétisants absorbés par tous les appareils qui ne produisent pas eux-mêmes leurs champs magnétiques, tels que transformateurs, bobines de réaction, moteurs asynchrones.

Si le condensateur prenait définitivement la place qui peut lui revenir dans l'industrie des courants alternatifs, c'est probablement ce mode d'application qui serait pour cet appareil le plus important motif à développement.

Les transformateurs branchés sur une station centrale sans sous-stations représentent toujours, comme puissance, deux ou trois fois la station ; or chacun de ces transformateurs absorbe à vide, pour son aimantation, un courant *magnétisant* égal à environ 10 p. 100 du courant de charge ; il en résulte que, dans le jour, une telle station débite 30 ou 40 p. 100 du courant qu'elle débite pendant l'éclairage, bien que ces 30 ou 40 p. 100 d'intensité ne correspondent qu'à peine à 10 p. 100 d'énergie consommée. De là l'obligation de faire marcher des groupes électrogènes importants, sans faire recette, pendant toute la journée. Bien que cet inconvénient soit de moindre importance dans les distributions de force, où l'on fonctionne toujours avec un facteur de puissance voisin de 0,8, il serait intéressant tout de même de pouvoir, moyennant une dépense raisonnable, annuler le courant magnétisant des moteurs asynchrones.

Dans l'application aux transformateurs et aux moteurs asynchrones, les condensateurs peuvent être placés en dérivation, soit sur le primaire, soit sur le secondaire ; il suffit que la résonance se produise dans l'un ou l'autre de ces circuits pour que la source d'énergie n'ait pas à fournir de courants d'excitation. On peut même la produire dans un circuit tertiaire qui, dans le moteur asynchrone peut être enroulé soit sur la partie fixe, ou inducteur, soit sur la partie mobile. Ces différentes combinaisons ont été proposées et expérimentées sur les transformateurs, moteurs asynchrones polyphasés et moteurs asynchrones monophasés.

3° *Bissection d'un courant alternatif.* — Nous arrivons à d'autres applications des condensateurs dans lesquelles les effets produits paraissent découler d'une façon moins évidente de la résonance ; il en est cependant encore ainsi, et si cela semble moins évident, c'est que, dans ces applications, il se superpose au courant de résonance proprement dit d'autres courants de même importance qui compliquent le phénomène.

En tête de ces applications doit figurer la bissection d'un courant alternatif en deux courants décalés de 90°.

En branchant sur une source de courant alternatif deux dérivations, l'une contenant une résistance ρ et une self-induction de réactance ρ, l'autre contenant une résistance ρ et un condensateur de réactance $-\rho$, les deux dérivations sont le siège de courants alternatifs décalés de 90°. Telle que, cette disposition ne présenterait aucun intérêt ; mais si l'on remplace chacune des résistances

par un circuit inducteur d'un moteur asynchrone diphasé, et si l'on modifie les réactances en circuit de manière à tenir compte des réactances des circuits du moteur, on peut ainsi alimenter le moteur asynchrone avec un courant alternatif simple.

Cette application serait, avec celle des condensateurs en dérivation, une de celles présentant le plus d'intérêt, mais elle rencontrerait, même si le condensateur industriel était au point, de sérieuses difficultés de réalisation de ce fait que la capacité devrait varier à chaque instant avec la charge.

4° *Dispositifs à intensité constante. Résonateurs.* — Les condensateurs peuvent encore servir, combinés avec des bobines de self-induction, à l'obtention de circuits à intensité constante au moyen de forces électromotrices constantes, et inversement. Ils permettent donc de faire de la distribution en série, dans un nombre quelconque de circuits branchés sur une source de tension constante (réseau ordinaire, alternateur ordinaire).

Il suffit pour cela de brancher chaque circuit à intensité constante en dérivation sur un condensateur placé en série avec une bobine de self-induction, sur la source de tension constante. Le condensateur et la self-induction doivent être ajustés et constituent un résonateur.

Le même résultat est obtenu en substituant la self-induction au condensateur et *vice-versa*.

Naturellement, chaque résonnateur peut être intercalé sur le réseau à tension constante avec interposition d'un transformateur, et ce transformateur ayant de la self-induction, la bobine de self-induction du résonateur peut être supprimée et le système réduit à un transformateur et un condensateur.

Le même résultat peut encore être obtenu plus avantageusement par l'emploi d'un résonateur double ainsi constitué :

On groupe deux bobines de self-induction et deux condensateurs ajustés, de manière à former un quadrilatère ACBD dans lequel les appareils semblables sont dans des côtés opposés. En reliant alors deux sommets opposés AB du quadrilatère à une source de force électromotrice constante, on recueille dans un circuit placé entre les deux autres sommets D et C un courant dont l'intensité est constante, quelles que soient la résistance et la réactance, autrement dit, l'impédance de ce circuit.

Nous n'insisterons pas plus sur ces applications ; nous signalerons seulement que l'emploi de deux résonateurs ou, plus exactement, de deux condensateurs et une bobine de self-induction (ou de deux bobines de self-induction et un condensateur) permet de coupler deux alternateurs en tension, et aussi de réaliser un appareil équivalant au transformateur ordinaire, c'est-à-dire transformant un courant de tension constante en un autre courant de tension constante différente.

5° *Excitation d'alternateurs.* — De même que les condensateurs peuvent fournir les courants d'excitation aux transformateurs et moteurs asynchrones, ils peuvent servir à l'excitation des alternateurs et des différents systèmes de génératrices à courants alternatifs pouvant être imaginés, en vertu du mécanisme suivant, qui est d'ailleurs tout le secret de la résonance.

D'une façon générale, dans une machine à induction, une force électromotrice est la dérivée changée de signe d'un flux par rapport au temps ; elle est donc en retard d'un quart de période sur le flux ; si cette force électromotrice débite sur des condensateurs, l'intensité du courant est en avance d'un quart de période sur la force électromotrice, donc en phase avec le flux, et par conséquent peut produire le flux.

Des condensateurs, placés en dérivation sur l'induit d'un alternateur ordinaire, peuvent, par des dispositions convenables dudit alternateur et en le modifiant dans ses proportions, servir à la production du champ de cet alternateur.

De même, s'ils sont placés en dérivation sur l'inducteur d'un moteur asynchrone à champ tournant susceptible de fonctionner en génératrice. (On ne voit cependant pas, dans ce cas, ce qui déterminerait exactement la fréquence.)

Nous citerons encore deux systèmes de machines génératrices pouvant être excitées par condensateurs.

Dans le premier, il n'y a pas d'inducteur ; un induit fixe et un induit mobile, identiques comme nombre de pôles, nombre de phases et nombre de spires, sont tous deux le siège de courants

induits de même fréquence et de même tension, par suite de la rotation d'un champ magnétique qui se déplace dans les deux avec une vitesse moitié de celle de l'induit mobile, et qui est produit par le débit des forces électromotrices obtenues sur les condensateurs.

Dans le second, il y a seulement deux circuits fixes ayant chacun un coefficient de self-induction variable périodiquement et de la forme $\lambda(1 \pm \sin 2\omega t)$, et entre eux un coefficient d'induction mutuelle $-\lambda \cos 2\omega t$.

Mais, ce qu'il y a de particulièrement intéressant avec toutes ces génératrices excitées par condensateurs, c'est que l'on peut réaliser ainsi avec ces machines les mêmes modes d'excitation qu'avec les dynamos à courant continu.

Si les condensateurs sont placés en dérivation, la caractéristique de la machine est la même que celle d'une dynamo shunt à courant continu.

La force électromotrice est maxima à vide, diminue quand on charge la machine, et il y a désamorçage si l'on dépasse une certaine charge.

Si les condensateurs sont placés en série, la caractéristique est celle d'une machine série à courant continu ; c'est-à-dire que la force électromotrice de la machine est nulle à circuit ouvert et croît quand on diminue la résistance du circuit extérieur.

Enfin, en combinant les deux modes d'excitation qui précèdent, on peut réaliser une machine dont la caractéristique est celle des machines compound à courant continu. Comme dans celles-ci l'excitation dérivée peut être prise avant ou après l'excitation série. On peut également hypercompounder la machine.

Nous arrêterons là la nomenclature des plus importantes applications du condensateur. Par ce rapide exposé l'on voit quelle importance pourrait acquérir cet appareil dans la grande industrie des courants alternatifs, si deux raisons principales ne s'étaient opposés jusqu'ici à son développement.

Ces deux raisons sont, d'une part, son prix, qui n'a pas pu descendre jusqu'ici au-dessous d'un certain chiffre trop élevé pour la *généralité* des applications, et, d'autre part, les phénomènes de résonance eux-mêmes, qui, d'utiles, deviennent, dans certains cas, nuisibles et détériorent le diélectrique des condensateurs.

Des produits assez divers ont été essayés pour la constitution du diélectrique : parmi les corps solides, le verre (Jablochkoff, 1880), le mica, qui ne semblent avoir donné que des résultats médiocres, le papier paraffiné, l'ébonite, le papier huilé, le papier enduit de cire, et plus récemment le stéarate de plomb et la paraffine pure sans support. Quelques diélectriques liquides ont été aussi essayés.

De tous ces diélectriques, il nous semble que c'est le papier paraffiné qui a été le plus éprouvé. En tout cas, nous n'avons pas trouvé de renseignements bien détaillés au sujet des autres corps.

Il y a cependant lieu de reprocher à la paraffine son point de fusion peu élevé et sa facile inflammabilité, et il serait à souhaiter que l'on trouvât un diélectrique ayant les qualités d'isolement et de capacité inductive spécifique de la paraffine, mais moins fusible et moins inflammable.

Il semble qu'à l'heure actuelle, le prix des condensateurs appliqués dans des conditions normales, pour les fréquences ordinaires de 40 à 50 périodes par seconde pour des tensions comprises entre 600 et 3000 volts, est compris entre 80 fr et 150 fr le kilowatt, en appelant condensateur de *un* kilowatt celui pour lequel le produit $\frac{2\pi}{T} E^2_{eff} \cdot C$ est égal à 1000. Ce prix est sensiblement proportionnel à la puissance, un condensateur de 100 kilowatts, par exemple, ne pouvant qu'être constitué par 100 condensateurs de 1 kilowatt. Il en résulte que ce prix, peu élevé en regard de celui des petites machines (200 fr, 300 fr, 500 fr le kilowatt), est, au contraire, très élevé en regard de celui des grandes (70 fr à 80 fr le kilowatt), ce qui jusqu'ici restreint l'application des condensateurs aux petites puissances.

Mais la deuxième raison qui s'oppose jusqu'ici à l'emploi des condensateurs dans les installations de grande puissance est peut-être plus importante. Elle tient à la production accidentelle de tensions très élevées résultant, par l'intermédiaire des effets de résonance, de variations brusques

de charge, de courts circuits par défaut d'isolement, en un mot des multiples incidents de l'exploitation d'une station centrale.

Il est certain que les phénomènes de surélévation de tension qui ont été constatés maintes fois par le percement des câbles, par exemple, ne se produisent pas partout et ne paraissent se produire que dans les grandes installations à haute tension ayant de la capacité en dérivation sur la ligne.

Il semble donc que, même si leur prix ne s'y opposait, l'adoption de condensateurs dans les grandes installations soit dangereux à la fois pour ces condensateurs et pour l'ensemble de l'installation. Mais nous croyons que ce n'est là qu'une apparence et qu'il doit y avoir une capacité pour laquelle les effets nuisibles passent par un maximum, et au delà de laquelle une augmentation de capacité a plutôt un effet bienfaisant, modérateur des coups de bélier et des surélévations de tension. Nous ne serions pas surpris que certaines installations soient dans le voisinage de ce maximum, grâce à la capacité de leurs câbles, et que pour ces grandes installations l'adjonction de condensateurs de grande puissance, le jour où leur prix sera plus abordable, soit un bienfait, non seulement par l'amélioration de leur facteur de puissance, mais eu égard aux conditions de sécurité.

Il ne nous reste que quelques mots à dire des appareils pouvant jouer le rôle de condensateurs dans une certaine mesure.

Les moteurs synchrones surexcités employés uniquement dans ce but ne nous paraissent pas devoir être une solution avantageuse, à cause de leur prix presque aussi élevé que celui des condensateurs, de la perte d'énergie qu'ils occasionnent, de la nécessité de les mettre en marche, de les entretenir et de les surveiller, eux et leurs excitatrices. Il est préférable dans ce cas, croyons-nous, d'ajouter des unités génératrices à la station centrale. Nous croyons, au contraire, qu'ils peuvent être avantageux lorsqu'on en a le placement, en même temps, comme *moteurs*, et qu'il ne faut pas négliger les occasions de les appliquer dans ces conditions.

Les condensateurs électrolytiques (capacité de polarisation) constitués par des électrodes plongées dans une solution de carbonate de soude absorbent beaucoup d'énergie ; leur résistance est sensiblement égale à leur réactance pour la fréquence de 40 périodes. Ce n'est donc que dans des circonstances toutes particulières, telles que le démarrage des moteurs monophasés, qu'elles peuvent être appliquées. On ne peut pas songer à les laisser en service dans un circuit.

En résumé, nous pensons que ces appareils ne peuvent pas être substitués au condensateur proprement dit, et que c'est surtout sur celui-ci qu'il y a lieu de porter ses efforts pour en faire un appareil moins coûteux et vraiment industriel.

SUR LES MÉCANISMES ÉLECTROMAGNÉTIQUES, par Silvanus-P. Thompson

Dans toutes les applications mécaniques du courant électrique, il intervient des mécanismes électromagnétiques dont les principes sont assez bien connus.

Le premier de ces principes est la loi du circuit magnétique. Entrevue par Joule il y a soixante ans, formulée par Rowland il y a seize ans, elle a été enfin mise en pleine clarté en 1886 par Kapp et par les frères Hopkinson. Dans son application à la construction des machines dynamos, cette loi a reçu les confirmations pratiques les plus frappantes. Dès cette époque-là, le calcul de ces machines est devenu une partie des sciences exactes.

En second lieu vient la loi de l'induction des forces électromotrices par le mouvement relatif des aimants et des circuits électriques, loi découverte par Faraday en 1831. De cette loi on peut déduire (en intégrant par rapport au temps écoulé le produit du courant et de la force électromotrice de réaction) la quantité d'énergie électrique absorbée dans un mécanisme électromagnetique dans son mouvement.

A ces lois, ajoutons une troisième, encore plus générale, qui domine tous les mécanismes électromagnétiques de quelque espèce qu'ils soient. Tous ces mécanismes peuvent être regardés comme constitués de parties séparées assemblées dans un système mobile. Toujours on y trouve des spires ou conducteurs dont la fonction est de conduire un courant électrique. Toujours on y trouve des

noyaux ou des masses de fer ou de quelque autre matière magnétique, à moins que celles-ci ne soient remplacées par un deuxième système de spires également traversées par un courant (cas des phénomènes dits *électrodynamiques*, découverts par Ampère). Toujours ces organes se trouvent assemblés, avec une configuration quelconque, dans un milieu ambiant, soit dans l'air, soit dans un autre milieu d'une perméabilité magnétique beaucoup plus basse que celle du fer. Considérons le cas le plus général où la configuration, soit simple, soit compliquée, des organes est quelconque. Alors on peut poser la loi suivante :

Dans tout système électromagnétique, d'une configuration quelconque, parcouru par un courant électrique, il y a toujours des forces mécaniques qui tendent à changer cette configuration dans un sens tel que le flux de force magnétique soit rendu maximum.

Ce principe peut être posé en plusieurs formes ; par exemple les suivants : dans tout système électromagnétique il y a toujours une tendance à agir d'une telle façon que la *réluctance* (ou résistance magnétique) soit rendue minimum. Dans tout système électromagnétique les divers organes tendent à changer leur configuration d'une telle manière que les spires magnétisantes embrassent autant que possible des lignes de force magnétique. Ou encore, dans tout système électromagnétique il existe des forces telles que les mouvements qu'elles produisent font augmenter le produit du courant par le flux de force magnétique avec lequel il est entrelacé. Soit I le courant dans un conducteur. Si par un changement de la configuration du système le flux de force entouré par le circuit s'augmente de Ψ_0 à Ψ_1, le travail produit aura évidemment la valeur de $I(\Psi_1 - \Psi_0)$; ou, si S est le nombre de spires, le travail sera $IS(\Psi_1 - \Psi_0)$. Ce travail, effectué par une dépense correspondante d'énergie électrique, tend toujours vers un maximum. Si, dans le mouvement où cette énergie est dépensée, le déplacement relatif des organes est d'une longueur l, la force f moyenne exercée entre les organes sera donnée par l'équation $f = \frac{IS(\Psi_1 - \Psi_0)}{l}$. Ou, plus généralement, quand un déplacement δx produit une augmentation $\delta\Psi$ du flux magnétique, la force qui tend à produire ce déplacement aura une valeur, par spire du circuit, de $f = I\frac{\delta\Psi}{x\delta}$.

Toutes les formes extrêmement variées de mécanismes électromagnétiques sont régies par ce principe fondamental. Un électro-aimant tend toujours à agir comme s'il cherchait à raccourcir la longueur de son circuit magnétique. Considérons un électro-aimant en fer à cheval, ses deux noyaux entourés chacun par une bobine excitatrice, son armature, en fer, séparée des pôles par uu entrefer convenable. Quand le courant est lancé, les masses de fer s'attirent mutuellement. Si l'une ou l'autre est mobile, un mouvement se produit, et la largeur de l'entrefer est réduite. Par la réduction de la largeur de l'entrefer, il y a une réduction, presquo proportionnelle, de la réductance ou la résistance magnétique, et une augmentation correspondante du flux de force magnétique. Toujours le circuit magnétique tend à se condenser.

C'est l'inverse de ce qui se passe pour le circuit d'un courant électrique. Celui-ci a toujours une tendance à s'étendre de manière à embrasser le plus d'espace possible, tandis que le circuit magnétique tend toujours à devenir aussi compact que possible. Les deux phénomènes dérivent d'ailleurs du même principe, parce que le circuit électrique, en s'élargissant, fait augmenter la section du circuit magnétique dans le milieu ambiant et, par conséquent, la valeur du flux de force.

Nous savons que, dans tous les systèmes physiques, les principes de l'énergie dominent les actions mécaniques, et que, dans tous, il y a une tendance à l'accroissement de l'entropie, que l'énergie potentielle d'un système tend toujours à une valeur minimum. Cette tendance des masses de fer, dans un système électromagnétique, à se mouvoir afin de devenir aimantées aussi fortement que possible, nous démontre qu'une masse de fer aimantée possède moins d'énergie potentielle que ne possède la même masse non aimantée. Il en résulte que là chaleur spécifique d'aimantation doit avoir une valeur négative.

Revenons au principe que le travail effectué par un changement dans la configuration d'un système électromagnétique peut être représenté par l'expression $IS(\Psi_1 - \Psi_0)$. Appliquons-le au cas de l'appareil que nous désignons par abréviation sous le nom de *bobine à plongeur*.

c'est-à-dire du système dans lequel un noyau de fer est attiré à l'intérieur d'une bobine tubulaire ou *solénoïde*. Ici encore le principe fondamental formulé plus haut nous suffit comme guide. Le système est soumis à des forces qui s'exercent entre ses parties, la bobine et le plongeur, forces qui tendent toujours à changer sa configuration de manière que le flux de force magnétique embrassé par les spires du courant devienne aussi grand que possible.

La position d'équilibre stable du plongeur, vers laquelle il tend toujours à revenir, est la position symétrique par rapport à la bobine, en faisant une égale saillie de part et d'autre (du moins s'il est cylindrique) par ses extrémités, cette position étant celle pour laquelle le circuit magnétique est le mieux complété.

Les forces exercées dans chaque position du plongeur peuvent s'obtenir par des considérations pareilles à celles que nous avons exposées plus haut. Un cas paradoxal se présente quand la longueur du plongeur est réduite à un minimum ; cela se présente quand, au lieu du noyau cylindrique, on se sert d'une petite balle de fer ronde pour explorer l'intérieur de la bobine tubulaire.

On arrive à ce résultat curieux que le seul point où un effort quelconque s'exerce sur la balle est juste celui où elle entre dons l'ouverture de la bobine ou la quitte. Pas de force à l'intérieur, ni à l'extérieur. A l'intérieur à part quelque réduction vers les extrémités, le champ magnétique, qu'il soit fort ou faible, est presque uniforme ; et dans un champ uniforme une balle de fer ne subit aucune action. A l'extérieur, sauf dans le voisinage immédiat de l'embouchure, il n'y a pas de champ magnétique, et la balle n'est pas attirée non plus. C'est à l'entrée même du tube que le rapport $\frac{\delta \Psi}{\delta x}$ a sa valeur maximum. Un déplacement très petit peut déterminer si la balle sera fortement aimantée ou si elle ne le sera pas sensiblement. Elle tend toujours à se mouvoir vers la position où elle est le plus aimantée ; et elle est soumise à des forces dont la valeur en chaque point dépend de l'accroissement de son aimantation quand elle est déplacée d'une quantité infiniment petite.

Il serait bien facile de multiplier des exemples de systèmes électromagnétiques, et de démontrer que dans tous c'est le même principe qui régit leurs actions. Même dans le cas des moteurs électriques, c'est la même chose. Dans les bobines rotatives des moteurs nous trouvons que les spires qui conduisent le courant sont successivement soumises à des forces motrices qui les déplacent dans un sens tel que, si le fonctionnement du commutateur n'intervenait pas, à un instant donné, pour changer le sens de ces courants, le flux de force magnétique embrassé par la spire prendrait une valeur maximum.

Dans mon traité sur l'*Électro-aimant* (¹), qui est paru en Angleterre en 1887, j'ai ébauché une exposition des principes du circuit magnétique et de ses applications aux phénomènes et à la construction des électro-aimants ; et j'y ai consacré un chapitre au sujet de la mécanique électromagnétique. J'ai ajouté une simple énumération, par catégories, des nombreuses espèces connues de mécanismes électro-magnétiques, en remarquant que l'heure n'est pas encore arrivée de pouvoir grouper en un système logique et synthétique — dans une véritable *électro-cinématique*, — toutes les variétés de ces mécanismes. Dans ce rapport sur l'état actuel de cette branche de l'électrotechnique, je propose de reproduire cette classification, si imparfaite qu'elle soit, un peu revue et augmentée.

MÉCANISMES ÉLECTROMAGNÉTIQUES

I. Électro-aimants. — A. *Bobine et noyau fixes; armature mobile.* — 1. Circuit magnétique court et compact, pour action au contact (force portante). — 2. Circuit allongé et bobine plus lourde pour action à distance (attraction). — 3. Types spéciaux : cuirassés, boiteux, feuilletés, à pôles conséquents, multipolaires, électro-aimant Hughes, etc.

B. *Noyau et armature fixes ; bobine mobile.* — 1. Deux bobines reliées ensemble.

C. *Armature et bobine fixes ; noyau mobile.* — 1. Deux plongeurs reliés par une culasse commune (électro-aimant Brush).

(¹) Traduction française par M. E. Boistel, Paris 1895 (*J. Fritsch*, éditeur).

II. Bobines a plongeur. — A. *Bobine tubulaire ou solénoïde fixe et plongeur mobile.* — 1. Plongeur plus long que la bobine. — 2. Plongeur plus court que la bobine. — 3. Balle de fer au lieu de plongeur. — 4. Types spéciaux de plongeurs : coniques, feuilletés, etc. — 5. Bobine établie en sections pour action successive (marteau-pilon Marcel Deprez).

B. *Plongeur ou noyau fixe, bobine mobile.* — 1. Appareil Bain.

III. Formes intermédiaires entre les précédentes. — 1. Bobines à butée (électro-aimant Borrelli). — 2. Electro-aimants tubulaires cuirassés (électro-aimants Roloff, Timmis, Holroyd Smith, Ayrton et Perry, etc.).

IV. Bobine fixe et bobine mobile. — 1. Bobines concentriques, mouvement axial. — 2. Bobines non concentriques, mouvement transversal.

V. Électro-aimants combinés avec des appareils antagonistes. — 1. Réaction par poids. — 2. Réaction par ressorts. — 3. Réaction magnétique (par aimants permanents).

VI. Égalisateurs pour électro-aimants. — 1. Égalisateurs électriques (réglage automatique par divers circuits ou par dérivations). — 2. Dégagement de ressorts (égalisateur Callaud). — 3. Leviers à embecquetage ou à rochet (répartiteurs Robert Houdin et Froment). — 4. Combinaisons de leviers articulés (égalisateurs Froment, Sarrin, etc.). — 5. Egalisateurs à came avec surfaces polaires de conformation spéciale (entrefer en V, de Froment; électro-aimant Elihu Thomson à pièce polaire conique et armature à œil).

VII. Cames électromagnétiques. — *Dispositions dépendant de l'approche latérale d'une surface polaire de forme spéciale.* (*Principe de rapprochement oblique de Wheatstone et de Froment.*)

VIII. Chaines électromagnétiques. — *Dispositions basées sur l'action réciproque de deux ou plusieurs électro-aimants distincts.* — 1. Galets électromagnétiques. — 2. Verrouillages électromagnétiques.

IX. Échappements électromagnétiques. — 1. Roue dentée en fer et levier en ancre (échappement Elisha Gray). — 2. Déclenchements électromagnétiques (déclenchement Hughes).

X. Robinets électromagnétiques. — 1. Relais ordinaires de télégraphie. — 2. Relais électropneumatiques (orgue électrique Hope Jones). — 3. Relais électrohydrauliques (relais Willans).

XI. Appareils basés sur la répulsion d'électro-aimants. — 1. Répulsion mutuelle de noyaux parallèles. — 2. Extension de noyaux à joints ou tubulaires.

XII. Dispositions électromagnétiques polarisées — 1. Électro-aimant à armature parallèle polarisée. — 2. Électro-aimant à armature transversale polarisée. — 3. Bobine à plongeur polarisé. — 4. Electro-aimant polarisé à ressort équilibrant (électro-aimant Hughes pour déclenchement très rapide). — 5. Aimant permanent fixe avec bobine mobile.

XIII. Vibrateurs électromagnétiques. — A. *Non polarisés.* — 1. A rupture de circuit. — 2. A court-circuit. — 3. A enroulement différentiel.

B. *Polarisés.* — 1. A simple action. — 2. A partie mobile polarisée. — 3. A partie fixe polarisée.

XIV. Dispositions électromagnétiques rotatives. — 1. Bobine fixe, aiguille mobile. (Expérience d'Œrsted.) — 1 *a*. Bobine fixe, aiguille en fer doux disposée obliquement. — 2. Aimant fixe, bobine mobile. (Disposition Bain, d'Arsonval, etc.) — 3. Bobine fixe, bobine mobile. (Électrodynamomètre de Weber.) — 4. Électro-aimant avec armature articulée obliquement. — 5. Fil tournant autour d'un pôle magnétique. — 6. Pôle tournant autour d'un fil conducteur. — 7. Disque tournant entre les pôles d'un aimant. (Roue de Barlow.) — 8. Aimant tournant sur lui-même en portant un courant. — 9. Bobine tubulaire incurvée et plongeur en S. — 10. Rapprochement oblique d'armature. (*Voir* n° VII.)

XV. Adhérence électromagnétique. — Entraînement par friction magnétique. (Appareils Nicklès, Bovet, etc.) — 2. Freins électromagnétiques. (Frein Achard). — 3. Trieurs magnétiques. 4. Enclenchements et embrayages magnétiques. (Embrayeur Achard, coupleur Willans.)

XVI. Freins magnétiques. — *Dispositions basées sur l'induction de courants parasites dits* cou-

rants de Foucault). — 1. Disque en cuivre pour amortir un aimant mouvant. (Expérience d'Arago). — 2. Disque en cuivre rotatif entraînant un aimant pivoté. — 3. Aimant rotatif entraînant un disque pivoté. (Expérience de Babbage et Herschel.) — 4. Disque en cuivre tournant entre les pôles d'un aimant fixe. (Expérience de Foucault. Compteur Elihu Thomson). — 5. Amortisseurs en cuivre. (Dispositions pour galvanomètres, etc.)

XVII. Dispositions a courants alternatifs. — 1. Conducteur en cuivre repoussé par le pôle d'un électro-aimant alternatif. (Expériences d'Elihu Thomson.) 2. Rotation virtuelle d'un champ magnétique sous l'action de deux ou trois courants alternatifs différant en phase. (Moteurs polyphasés.) — 3. Déplacement virtuel du champ alternatif par interposition d'un écran recouvrant la moitié d'un pôle. — 4. Transport virtuel d'un pôle magnétique dû à l'interposition d'anneaux en cuivre fonctionnant comme amortisseurs.

Dans cette énumération, nous avons omis quelques dispositions purement magnétiques, comme, par exemple, la suspension dite *pivot sans frottement* W. Evershed. D'autre part, elle comprend des appareils, par exemple, les trieurs pour la séparation des particules de fer de matériaux non magnétiques, dans lesquels, malgré l'emploi habituel des courants, l'action est purement magnétique.

Les dispositions à courants alternatifs données au n° XVII ne font point d'exception à la loi générale qui réagit tous les autres mécanismes électromagnétiques, quelque différents que paraissent leurs modes de fonctionnement. Un disque ou un anneau en cuivre est repoussé par le pôle d'un électro-aimant alternatif, parce que les courants parasites induits dans sa masse étant des courants inverses (un peu décalés, il est vrai), tendent à diminuer le flux de force dans le circuit magnétique. Selon la loi fondamentale qui reconnaît une tendance à faire augmenter ce flux jusqu'à sa valeur maximum, on doit trouver des forces mécaniques entre les diverses parties du système, telles qu'elles tendent à chasser ces courants inverses. En effet, il y a une répulsion entre le noyau et l'anneau, et aussi entre ce dernier et la bobine excitatrice. En tous cas, la loi générale est satisfaite.

PRISE DE COURANTS POUR TRAMWAYS, par Postel-Vinay

Dans ce colossal débouché qu'est devenue pour l'industrie électrique la traction sur voies ferrées, il n'est pas de petits détails. Les points les plus secondaires, les accessoires en apparence les plus indifférents ont dû faire l'objet d'études sérieuses, et bénéficier de la sanction d'une longue expérience pour cesser d'être le grain de sable qui compromet l'édifice.

Quoi de plus simple, par exemple, que d'amener le courant des conducteurs qui suivent une voie de tramway aux véhicules qui y circulent ? Pourtant, voici soixante ans que le problème est posé, que l'ingéniosité des chercheurs s'y applique, et il n'y a pas plus de quelques années que des dispositifs vraiment pratiques ont vu le jour ; tant il est vrai qu'en les choses les plus simples la perfection est malaisée.

Soixante ans, ai-je dit ? Ceci sera pour ceux qui se rappellent en quel état rudimentaire sommeillait hier encore l'électricité industrielle, lorsque l'intervention de Gramme vint lui donner l'impulsion définitive. Et cependant telle est la réalité : c'est qu'ici, comme en tant d'autres circonstances, la voie a été ouverte par d'audacieux chercheurs qui, par delà l'horizon borné de leur époque, ont su pressentir l'avenir ; qui ont mis *dans l'air*, suivant une expression plus imagée qu'exacte, des idées dont la réalisation immédiate a été facile du jour où les moyens d'action sont devenus plus puissants.

Parmi ces précurseurs, une des figures les plus originales dans l'ordre d'idées qui nous occupe est à coup sûr celle de l'Américain Pinkus. Venu en Europe vers 1820, curieux de tous les problèmes industriels alors à l'étude, cet inventeur émérite se signalait dès 1827 par des travaux intéressants, mais dont les rapports avec notre industrie sont, à vrai dire, quelque peu lointains. De 1834 à 1839, il se passionnait pour un mode de traction encore inédit et qui devait faire, lui aussi, son chemin dans le monde, la traction par l'air comprimé.

D'un autre côté, reprenant sur une nouvelle base les travaux de Davy, notre inventeur se préoccupait d'assurer sans danger l'éclairage des houillères, et aboutissait à l'incandescence des composés du zirconium par la combustion du gaz et de l'air : conception remarquable, bien digne d'être rappelée à l'heure où les procédés de Clamond et d'Auer ont reçu de la pratique une si éclatante consécréation.

A cette époque, aux environs de 1840, le succès des expériences de Jacobi sur la Néva provoquait le plus vif enthousiasme : on avait vu avec stupéfaction le cours du fleuve remonté par un bateau lourdement chargé auquel les seules forces alors connues du vent et de la vapeur étaient étrangères. La question de l'électricité considérée comme force motrice s'en était du coup trouvée inscrite à l'ordre du jour ; et en dehors de Jacobi, Davenport en Amérique, Davidson en Ecosse, Wagner en Allemagne, Froment dans notre pays, s'étaient lancés dans la voie du perfectionnement des moteurs électriques. Familiarisés par ses études antérieures sur l'air comprimé avec le problème de la traction, Pinkus fut amené à l'envisager dans le cas de l'électricité sous un aspect assez particulier. Dans son système de propulsion par l'air comprimé, auquel nous avons fait allusion, il était inutile de charger les véhicules d'une énorme quantité d'air, puisque des conduites amenaient celui-ci le long de la voie et permettaient son renouvellement à mesure des besoins : de même il lui parut que les lourdes batteries galvaniques de Jacobi et de Davidson pourraient être reléguées dans une *station centrale* et leur courant envoyé le long de la voie à l'aide d'une ligne de doubles conducteurs aériens contre lesquels se déplacerait un double contact glissant, en relation électrique avec chaque voiture. On trouve nettement formulé cet ensemble d'idées, qui contient en germe presque toute la traction électrique moderne, dans une série de brevets français et anglais datés de 1840 et 1841, brevets d'autant plus remarquables que les vues de l'auteur ne s'y arrêtent pas à la seule traction, mais s'étendent à tout ce que nous faisons tenir aujourd'hui sous le vocable général de *distribution d'énergie*.

L'inventeur italien major Alexandre Bessolo est un peu moins éclectique que son confrère américain, mais sa conception du problème de la transmission de l'énergie électrique est tout aussi nette et à peu près aussi méritoire puisqu'elle remonte à 1855, qui appartient encore un peu à l'époque de la préhistoire de l'Industrie électrique.

De ce problème général de la transmission à distance de l'énergie mécanique, un cas spécial préoccupe Bessolo : c'est celui où le moteur récepteur est mobile, disposé qu'il est sur un véhicule ; et l'inventeur est conduit à ce propos à l'idée d'amener le courant de la station génératrice aux appareils d'utilisation, soit *par les rails de la voie* eux-mêmes, soit par *un* conducteur isolé du sol et supporté à la manière des fils télégraphiques, ce qui suppose le retour par la terre. A vrai dire, la description de ses brevets est quelque peu réservée sur le chapitre qui nous intéresse, surtout celui de la liaison mobile entre les conducteurs et les voitures ; mais il semble qu'il y ait là plutôt l'effet d'une inadvertance qu'un point systématiquement écarté.

Si Bessolo, de même que Pinkus, s'était contenté d'exprimer sur le papier des idées remarquables, il avait été devancé au point de vue même de leur réalisation pratique.

Sans parler de Farmer, qui, dès 1847, exhibait en public une petite locomotive tirant une voiture et deux hommes sous l'action d'un moteur actionné par 48 éléments Grove, nous avons à citer, avec la minuscule machine de Hall (1851), le premier exemple pratique de traction électrique avec station d'énergie distincte. Le moteur était constitué par des électro-aimants tournant entre les pôles d'un aimant. Le courant de deux piles Grove placées à distance était transmis par les rails eux-mêmes d'une voie de 15 m de long et de 0,12 m de large, et les roues de la locomotive, isolées les unes des autres par de l'ivoire, collectaient le courant pour l'amener au moteur.

Il nous faut maintenant franchir neuf années après les travaux de Bessolo pour voir apparaître dans cette question le nom d'un compatriote, Henry Cazal, qui revendiqua un système de traction électrique dans lequel le moteur est directement calé sur les roues du véhicule et qui utilise, lui aussi les rails comme conducteurs.

Tous ces efforts ne pouvaient d'ailleurs engendrer aucun résultat immédiat, puisque la base

indispensable, la source de courant puissante et économique faisait encore défaut. Ce dont on peut s'étonner, par exemple, c'est qu'après l'invention de Gramme, alors que le point de départ semble acquis, l'émulation des inventeurs parait se ralentir. En fait, il nous faut arriver jusqu'en 1878 pour qu'un autre français, Boué, songe à utiliser pour la traction le fait de la réversibilité des dynamos découvert par Hippolyte Fontaine dès 1873, et ne décrive un système à conducteur aérien et *à trôlet* fort remarquable pour l'époque. De cette même année 1878 date un autre brevet dans lequel l'un des auteurs des célèbres expériences de labourage électrique de Sermaize, M. Chrétien, décrit un système où les rails sont utilisés comme conducteurs.

A partir de cette époque, les efforts vont enfin aboutir. C'est d'abord Werner Siemens, de Berlin, qui, préoccupé de la question depuis 1867, mais rebuté pendant longtemps par l'échauffement des machines, offre en 1879 à l'admiration des visiteurs de l'Exposition de Berlin le premier tramway électrique connu : un rail central amène le courant, collecté sur les deux faces verticales du rail par deux brosses en fil de cuivre pressées par des ressorts. Les rails de roulement servent au retour.

Satisfait de son essai, Siemens simplifie encore et, pour l'installation de Gross-Lichterfelde, la première ayant un caractère définitif, supprime le rail central : il fait l'aller et le retour du courant par les rails de roulement, sous une différence de potentiel de 90 à 100 volts, sans précautions d'isolement spéciales. Pourtant, peu certain de la réussite de ce système, Siemens prévoit en cas d'échec un dispositif formé de deux câbles aériens sur lesquels vient poser un chariot remorqué par le câble de liaison et constitué par quatre roues à gorge roulant deux par deux sur les câbles.

Ce dernier dispositif devait présenter en vitesse des trépidations et provoquer des interruptions fréquentes du courants ; aussi, pour la ligne qu'ils sont appelés à installer à l'Exposition d'Électricité de 1881 à Paris, et où l'emploi des rails comme conducteurs ne peut être toléré en raison du danger pour la circulation, MM. Siemens et Halske ont-ils recours à un dispositif plus perfectionné. Les conducteurs d'aller et de retour, tous deux aériens, sont constitués par des tubes fendus ; dans l'intérieur de chacun de ceux-ci glisse une navette munie à ses extrémités de deux bras passant par la fente et servant de support à un galet qui, sous l'action de ressorts à boudin, presse le long du tube conducteur et assure le contact de la navette. Il faut croire que, malgré le succès de l'installation, ce dispositif ne donne pas encore satisfaction entière à ses auteurs, car, dans une ligne installée à Modling, près Vienne, ceux-ci compliquent notablement le système précédent : quatre navettes reliées les unes aux autres et non plus une seule, courent à la file dans chaque tube fendu, pressées sur la partie inférieure des cylindres creux conducteurs par des galets extérieurs et des ressorts, comme à l'exposition de Paris ; en outre, chacune de ces navettes est constituée par deux demi-cylindres tendant à s'ouvrir sous l'effet des ressorts à boudin, de manière à frotter non seulement dans le bas, mais aussi dans le haut du tube conducteur.

Sur cette ligne de Modling, on n'avait d'ailleurs plus affaire à une voie unique, et l'une des principales difficultés de ces systèmes à navettes apparait, celle des aiguillages aériens aux croisements de voie. On la résout de façon assez satisfaisante cependant, mais par un système bien compliqué. D'ailleurs, la grosseur et le poids des conducteurs tubulaires donnent à la ligne un aspect disgracieux qu'on peut encore retrouver dans l'antique tramway de Vevey-Montreux et l'on conçoit que ces premiers essais aient enveloppé le fil aérien, au point de vue esthétique, d'une atmosphère défavorable que la simplicité actuelle ne justifie plus guère.

Cette même année 1883, la maison Siemens et Halske a à participer à une nouvelle exposition. Mais à Vienne, on se montrep lus accommodant qu'à Paris, et la distribution par les rails de la voie sous 150 volts réapparait.

Nous retrouvons encore cette disposition simpliste sur la ligne équipée la même année par M. Volk à Brighton, tandis qu'à Portrush, en Irlande, première application à la traction de la force motrice hydraulique, la maison Siemens de Londres recourt, pour l'amenée du courant à un rail latéral en T placé un peu au-dessus du niveau de la voie ferrée, isolé, et sur la face supérieure duquel se déplacent les frotteurs.

Aux mines de Hohenzollern, autre installation de Siemens et Halske, ces constructeurs abandonnent la navette : un rail en T renversé est fixé au ciel des galeries par des isolateurs à cloche et une prise de courant compliquée, représentée par la figure, glisse sur le rail, remorquée par le câble d'alimentation.

Il nous faut ici signaler le contraste remarquable entre l'activité des ingénieurs européens à l'époque où vient de nous amener ce bref historique et la quasi indifférence qui est de règle dans le futur pays d'élection de la traction électrique.

Presque rien à citer aux Etats-Unis en dehors des travaux de Field et d'Edison ; mais ceux-ci, par contre, sont doublement intéressants par les discussions auxquels ils donnent lieu. Depuis 1868, M. Field s'était adonné à l'idée de la traction électrique ; mais une incroyable malechance l'avait poursuivi, et il n'avait pu effectuer ses premiers essais qu'en 1879. Fort heureusement pour lui, il aboutissait assez à temps pour déposer ses brevets en mars 1880. Quelques mois de retard, et il était précédé par Edison, dont les essais exécutés à Menlo-Park sur une voie, dont les deux rails isolés constituaient les deux conducteurs, avaient parfaitement réussi.

Malgré l'antériorité légalement établie de Field, des discussions épineuses surgirent, qui aboutirent à un arrangement d'où sortit, en 1883, l'*Electric Railway Cy*.

C'est à partir de ce moment que l'émulation des ingénieurs américains commence à se donner carrière. A côté des fondateurs de l'Electric Railway Cy apparaissent trois des plus célèbres pionniers en matière de traction électrique : Van Depoele, Daft et, en dernier lieu, Sprague ; de nombreuses installations sont édifiées où la nécessité se fait jour de plus en plus d'enlever les différence de potentiel agissantes de la surface du sol, où elles créent des dangers pour la circulation, surtout pour les chevaux, que de faibles voltages incommodent énormément, que des différences de potentiel alternatives de *cinq volts* suffisent à faire tomber sur les genoux. Les systèmes à deux rails conducteurs ou à troisième rail disparaissent donc progressivement, tandis que les préférences vont lentement au fil aérien unique avec retour par la terre. Presque toujours cependant, jusqu'en 1887, les installations sont à double fil aérien. Quant aux prises de courant, les systèmes des premiers jours, navettes, chariots glissants, commencent à être rejetés comme trop compliqués et comme déterminant une usure trop rapide des conducteurs aériens ; mais l'hésitation sur le système définitif subsiste longtemps. Dans la plupart des installations de cette époque, on rencontre un trôlet constitué par un chariot à quatre roues roulant sur les conducteurs et à peu près identique à celui prévu par Siemens pour l'installation de Gross-Lichterfelde. Mais les difficultés du croisement et des aiguillages sont toujours très grandes avec de semblables trôlets combinés avec le double fil. Voici comment cette difficulté est résolue sur la ligne de Los Angeles : les deux potences voisines de l'aiguille sont reliées par ces entretoises qui portent deux rails courts transversaux ; sur ces rails se meut une petite glissière à laquelle sont fixées les deux extrémités mobiles des fils de trôlet, qu'on peut ainsi placer à l'aide de cordes en regard de l'une ou l'autre des voies aériennes.

Petit à petit, un perfectionnement nouveau s'affirme comme très important ; les trôlets glissant ou roulant sur les fils exercent sur ceux-ci, tant par leur poids que par la traction du câble d'alimentation une forte pression ; ils exigent, en conséquence, un appareillage aérien plus complexe, des fils plus gros, nuisibles à l'aspect : de là l'idée d'appliquer le trôlet en dessous des fils à l'aide de ressorts, de manière, au contraire, à les soulager : telle est la caractéristique importante des tentatives de Daft à Baltimore, de Van Depoele à Toronto, où des perches portant à leur partie supérieure des balais métalliques vont faire sous le fil aérien la collection du courant. Nous touchons de bien près au trôlet moderne : il ne faudra plus que la disparition à peu près complète du double fil pour que le trôlet simple, faisant son contact à l'aide d'un galet roulant sous le fil, n'écrase sous sa supériorité tous les autres systèmes et n'arrive rapidement, grâce aux efforts des Sprague et des Van Depoele, à la forme définitive qu'il a conservée sur la plupart des lignes et dont la figure reproduit l'aspect bien connu.

Parallèlement à ces progrès, le matériel générateur, le matériel roulant, les moteurs, les méthode de réglage et de distribution se perfectionnent sous les efforts des ingénieurs américains.

Car les rôles de jadis sont renversés, et à son tour la vieille Europe se désintéresse pour ainsi dire de la question. Lorsque arrive 1888, tout est prêt, y compris les puissantes organisations qui ont nom *Compagnie Thomson-Houston, Compagnie Westinghouse, Compagnie Edison*, pour la formidable poussée qui va répandre le tramway électrique et les *toiles d'araignée* à des milliers d'exemplaires sur le sol des États-Unis.

Et il faut que les préoccupations esthétiques, quelque peu négligée dans les quelques centaines d'installations américaines primitives, commencent à reprendre leurs droits pour que, vers 1890-1892, nous enregistrions de nouveaux progrès du trôlet.

Le principal reproche adressé au système à trôlet aérien consiste, on le sait, non pas tant dans la présence en l'air du fil conducteur lui-même, mais dans la multiplicité des fils tendeurs, qui forcent le fil conducteur à épouser aussi exactement que possible les sinuosités de la voie : car la flexibilité du trôlet ordinaire dans le sens transversal est médiocre et, dès que le fil s'écarte un peu de l'axe de la voie, la roulette le coince et déraille. Si le trôlet ne présentait pas cette exigence, si la roulette pouvait se déplacer latéralement dans une certaine mesure, cette sujétion de maintenir le fil dans l'axe serait superflue; le nombre des fils tendeurs pourrait être réduit énormément à l'aspect de la voie s'en trouverait infiniment amélioré.

Il y avait donc là une question de première importance à résoudre en présence des exigences esthétiques de nombreuses municipalités. Deux moyens différents ont permis d'y atteindre avec une simplicité remarquable : le trôlet à chappe tournante et l'archet, imaginé par J. Hopkinson et appliqué dès 1885 sur la ligne anglaise de Bessbroock-Newry sous la forme de barres métalliques horizontales fixées sur le toit des voitures. Le trôlet à chappe tournante est trop connu aujourd'hui et d'un fonctionnement trop simple pour que nous nous attardions à le décrire. Son seul inconvénient est qu'il est assez difficile de remettre la roulette sur le fil lorsqu'elle l'a quitté pour une raison quelconque. Une modification ingénieuse de ce système, fondée sur le principe de la suspension à la *Cardan*, a été appliquée récemment sur la ligne Romainville-Opéra, où elle semble donner de bons résultats. Quant à l'archet, préconisé plus particulièrement par la maison Siemens, son fonctionnement est encore plus facile à comprendre, mais il n'est pas sans avoir donné lieu à quelques désillusions : s'il présente dans le sens horizontal une souplesse suffisante, il n'en est pas de même dans le sens vertical, ce qui oblige à des soins particuliers dans la pose des fils aériens. En outre, le type primitif déterminait une usure assez rapide du fil de trolley : on y a remédié en le constituant en un alliage antifriction ou en un autre alliage qui tend à céder du métal au fil de trôlet au lieu de lui en arracher. On a aussi pratiqué à la face supérieure de l'archet des rainures que l'on remplit de graisse. Enfin, une modification qui paraît en voie de succès consiste à le munir d'une roulette qui présente sur la roulette du trolley ordinaire la supériorité de pouvoir se déplacer transversalement, tout en supprimant l'usure du fil aérien par l'archet et faisant bénéficier la prise de courant de l'élasticité du trôlet.

Depuis ces derniers perfectionnements, qui remontent déjà à quelques années, à peu près plus rien n'est à signaler, ce qui semblerait indiquer que la prise de courant aérienne est arrivée bien près de la perfection. On peut en dire à peu près autant, d'ailleurs, de l'ensemble du matériel des lignes aériennes, et certes les critiques acerbes jadis prodiguées au trôlet ont perdu aujourd'hui la plus grande partie de leur raison d'être. Pourtant, les résistances qu'il a trouvées sur sa route ne se sont pas toutes évanouies. Dans plusieurs grandes villes, les perfectionnements du trôlet n'ont pu lui faire trouver grâce, au moins pour les plus beaux quartiers. Mais, comme la traction électrique paraît maintenant à tout le monde indispensable et que les accumulateurs jouissent d'une faveur restreinte que justifient leurs inconvénients, il en est résulté un renouveau de vogue pour un système d'adduction de l'énergie qui remonte aux premiers temps de la traction électrique et qui était resté à peu près démodé par suite de son coût d'établissement élevé. Je veux parler du système à caniveau souterrain, dont on faisait dès 1883 à Toronto et à Blackpool les premières applications et que, l'année suivante, MM. Bently et Knight essayaient sans succès à Cleveland.

Une autre ligne anciennement équipée et qui, au contraire de la précédente, a fonctionné avec un succès remarquable est celle de Budapest, établie par la maison Siemens et Halske. Elle ne présentait cependant pas de différence très essentielle avec le système Bently Knight; mais un des grands éléments de succès d'un caniveau tient à une cause indépendante qui réside dans la perfection du système des égouts dans la localité considérée ; il est possible que MM. Bently et Knight aient été moins favorisés sous ce rapport. Quant à la prise de courant de Budapest, elle ne présente pas non plus de particularités dignes d'être notées. D'ailleurs, en thèse générale, la prise de courant dans les conduites souterraines ne présente pas les difficultés qu'on a rencontrées à l'origine dans la prise de courant aérienne. Les conducteurs sont rigides, absolument rectilignes; on n'a à craindre ni de les user ni de les fatiguer en exerçant sur eux la pression nécessaire; on n'a pas à se préoccuper de disposer la prise de courant de manière à restreindre au minimum le diamètre du conducteur. La fente des conduites est étroite, il est vrai, et il pourrait en résulter des difficultés au point de vue de la solidité de la prise de courant et de l'isolement, car le niveau comporte toujours les deux pôles isolés; mais ce qu'on n'a pas en épaisseur pour la prise de courant, on le gagne sur la longueur qu'on peut faire très grande sans inconvénient.

Aussi nous contenterons-nous d'indiquer le système appliqué avec succès dans les caniveaux établis par la Compagnie Thomson-Houston, à Paris, Lyon, Nice, etc. L'âme de la prise de courant est constituée par deux flasques d'acier présentant au niveau de la fonte du caniveau, en vue de l'usure, un renforcement. Dans ces feuilles d'acier, des logements rectangulaires ont été réservés pour le passage des câbles conducteurs aplatis pour ne pas dépasser l'épaisseur compatible avec la fente. Les deux feuilles d'acier se terminent à la partie inférieure par un assemblage en bois et fibre, recouvert d'étain vers le haut pour éviter l'action de l'humidité et sur lequel sont boulonnés les sabots collecteurs par l'intermédiaire de blocs de matière isolante et de ressorts. On obtient ainsi un ensemble rigide malgré sa faible épaisseur, et que des chaînes maintiennent sous la voiture ; ces chaînes permettant en outre le relèvement de la prise de courant par des trappes ménagées à cet effet si la ligne comporte une partie du parcours en fil aérien.

Notons encore que dans les caniveaux établis par l'Union Elektricitäts Gesellschaft, le contact se fait par en dessus sur des courants à T.

Restent les systèmes à contacts superficiels, qui fournissent, comme on sait, un moyen d'amener le courant au niveau du sol en évitant, en principe, le danger des premiers systèmes à rails de roulement conducteurs. On sait que l'idée de ces systèmes remonte également aux premiers temps de la traction électrique et qu'elle a été formulée dès 1882 par Hopkinson, puis par Ayrton et Perry ; mais leur réalisation pratique s'est fait attendre jusque vers 1897, époque à laquelle Claret et Vuilleumier établirent, lors de l'Exposition de Lyon, la ligne qui devait servir de type à l'installation parisienne de Romainville-Place de la République.

Pour tous ces systèmes, le problème de la prise de courant est encore moins complexe que dans le cas du caniveau : un frotteur placé sous la voiture, quelquefois deux si le système comporte deux rangées de *plots*, frotteurs assez longs pour couvrir à la fois deux pavés consécutifs de la même rangée, suspendus à l'aide de ressorts permettant, dans le sens vertical, un léger déplacement pour parer aux petites irrégularités dans le niveau des plots, tel est le type commun adopté quel que soit le système.

Il nous faut faire une exception cependant pour le système Diatto où la mission dévolue au frotteur n'est pas seulement de collecter le courant, mais encore de provoquer l'électrisation successive des plots par l'attraction de leurs *clous* respectifs, et qui est dans ce but muni sur sa longueur de trois bobines traversées par le courant d'une petite batterie portée par la voiture ; le passage du courant développe, dans les barreaux parallèles qui constituent le frotteur, des polarités convenables pour déterminer l'attraction énergique des clous.

Tel est, dans ses grandes lignes, l'ensemble des moyens qui ont permis de résoudre le problème de l'adduction du courant électrique aux voitures de tramways proprement dits.

Le rail conducteur a fait une réapparition récente ; l'application aux grands trains des Compagnies de chemins de fer exige pour le conducteur une section considérable, et il devient très

difficile de le supporter aériennement; s'il est vrai que les premiers trains électriques installés en Amérique, à Baltimore, prenaient le courant par roulettes sur un conducteur de cuivre aérien, ce système a été abandonné pour les applications qui ont suivi et sur les lignes installées en Amérique, pour le service du pont de Brooklyn; en France, par la Compagnie de l'Ouest, pour la ligne des Invalides à Versailles, et par la Compagnie Thomson-Houston pour la Compagnie d'Orléans entre la place Valhubert et le quai d'Orsay, un troisième rail isolé sur traverses en bois paraffinées a été posé sur le côté des voies de roulement qui servent au retour du courant. Le contact se fait par frotteurs plats glissant sur le rail, généralement protégé aux passages à niveau par une couverture isolante.

Aux croisements et aux aiguillages, le rail conducteur est interrompu ou placé sur l'autre côté de la voie. Pour éviter la cessation de contact, les locomoteurs sont munis de quatre frotteurs, deux sur chaque côté aux extrémités du châssis. Aux démarrages, ces frotteurs peuvent collecter jusqu'à 1 200 ampères.

Enfin, et comme s'il était dit que toutes les idées des premiers inventeurs devaient un jour trouver l'occasion de renaître, le chariot à roulette prenant le courant sur deux fils aériens parallèles trouve aujourd'hui sa raison d'être dans l'application de la traction électrique des voitures sur routes et des bateaux sur les canaux. La difficulté d'entraîner le chariot par la traction exercée sur le câble a été ingénieusement tournée par l'emploi d'un petit moteur placé sur le chariot et lui imprimant une vitesse telle qu'il se maintient toujours en avant en tendant le câble. A Vincennes se trouve exposée une ligne de ce genre, dans laquelle le moteur du circuit est maintenu constamment à vitesse égale à celle du véhicule.

C'est un moteur d'induction recevant un courant triphasé pris sur trois bagues reliées à l'induit même du moteur de la voiture ou du bateau; un avenir prochain décidera le sort de ce système.

Nous nous arrêterons ici en constatant, en résumé, que les moyens utilisés dans la technique actuelle sont devenus aussi simples que pratiques et qu'ils paraissent répondre à tous les besoins de l'industrie de la locomotion électrique.

LES FOURS ÉLECTRIQUES, par Keller.

Différents genres de fours électriques. — L'emploi des fours électriques a pris un rapide développement dans ces dernières années et l'on en trouve aujourd'hui un grand nombre de modèles en service dans l'industrie; il est donc intéressant d'étudier les différents types qu'ils présentent et les progrès faits dans leur construction.

Ces appareils dérivent, pour la plupart, comme types, du four électrique en forme de creuset de Siemens et Hutington ou du four électrique Moissan.

Four Moissan. — On sait que ce dernier four est caractérisé par l'utilisation de l'arc électrique employé seulement comme source de chaleur et non comme agent électrochimique.

Il a donné le moyen de dépasser les températures que l'on pouvait obtenir à l'aide des fours de différents genres précédemment employés dans l'industrie.

Les températures les plus élevées atteintes avec ces derniers avant qu'on ait eu recours à l'énergie électrique étaient, en effet, limitées à 1 800° environ; le chalumeau à gaz d'éclairage et oxygène seul donnait 2 000°; avec le four électrique Moissan, on atteint certainement plus de 3 000°.

Dans cet appareil, on fait jaillir l'arc entre deux charbons horizontaux pénétrant dans un canal creusé dans un bloc de chaux vive. Un dôme également en chaux vive ferme le four: il reçoit la chaleur émise par le foyer électrique et la réfléchit sur la matière à traiter, qui est placée au-dessous de l'arc électrique.

L'action calorifique du courant est ainsi nettement séparée de son action électrolytique; la

disposition adoptée évite également que les impuretés contenues dans les électrodes interviennent dans l'expérience.

Par suite de la faible conductibilité de la matière employée, une épaisseur de 30 mm seulement pour le dôme a pu suffire pour permettre de réaliser la fusion de la partie interne de ce dôme, avec production de lumière Drumond, tandis que la partie extérieure restait suffisamment froide pour qu'on y pût appliquer la main.

Four Siemens. — Le four Siemens est conçu dans un autre ordre d'idées. Les premiers appareils Siemens étaient destinés à la fusion des métaux et consistaient en un creuset de matière réfractaire, à parois doublées d'une enveloppe isolante et recevant à sa base le courant électrique.

Une électrode verticale, disposée au-dessus du creuset, servait de deuxième conducteur au courant. La matière introduite dans le creuset tient lieu, dans ce système, de conducteur intermédiaire et l'arc électrique jaillit entre l'électrode verticale et le matière elle-même.

Le réglage de l'arc est automatique ; il s'obtient par la mise en dérivation, dans le circuit, d'un solénoïde provoquant le déplacement de l'électrode.

Par la suite, pour éviter les perturbations amenées dans l'action chimique par les impuretés de l'électrode et par la chute, dans le bain de fusion, de particules de charbon, Siemens fit usage d'un pôle supérieur en cuivre avec refroidissement par courant d'eau intérieur.

Fours industriels. — Avant de parler des types nouveaux dont l'introduction dans l'industrie a été provoquée surtout par la fabrication du carbure de calcium, il ne sera pas inutile d'entrer dans quelques détails sur les deux ou trois systèmes de fours industriels dérivés des types qui précèdent et qui, restés seuls pendant un certain temps en usage dans l'industrie, ont servi à fixer les conditions d'emploi pratique des fours électriques, en dehors des nombreux essais faits sur différents autres types qui sont restés plutôt dans le domaine des laboratoires.

Fours Cowles. — En 1885 apparut le four Cowles, qui répondait déjà à certains besoins industriels et avec lequel ont été faites les premières applications de l'électricité à la réduction des oxydes.

L'appareil des frères Cowles se compose d'une capacité horizontale en matière réfractaire dont une extrémité, fermée par une paroi en matière conductrice de l'électricité, constitue un pôle.

L'autre extrémité de la capacité est fermée par un creuset en graphite constituant l'autre pôle.

La matière à traiter est placée dans la capacité horizontale et le courant électrique est ainsi obligé de la traverser.

Cette capacité horizontale est entourée de matières pulvérulentes non conductrices, tout comme dans le four Siemens.

En vue de rendre le fonctionnement de leur appareil plus pratique, surtout au début de l'opération, les frères Cowles, en 1886, introduisirent dans la capacité contenant la matière, deux électrodes horizontales entre lesquelles l'arc jaillit tout d'abord ; ces électrodes sont ensuite éloignées au fur et à mesure de la fusion de la matière.

Ce perfectionnement du four primitif permit de traiter des matières qui, à froid, n'étaient pas conductrices de l'électricité. Ce système fut employé à l'usine de Milton (Angleterre) pour la réduction des oxydes d'aluminium et la formation des alliages.

En 1887, MM. Cowles prirent un nouveau brevet pour un four électrique dans lequel la charge était introduite d'une manière continue.

Il est composé de deux électrodes verticales creuses en charbon ; l'électrode supérieure seule est mobile ; le tout est compris dans une chambre, en briques réfractaires, fermée hermétiquement autour des électrodes. La matière à traiter descend par l'électrode supérieure, traverse le foyer électrique et est évacuée par l'orifice de l'électrode inférieure.

Four Héroult. — Le four Héroult, appliqué tout d'abord à la réduction de l'alumine par le cuivre, est basé sur le même principe que le four précédent de Cowles. Le cuivre est introduit dans le four, en granules ; le courant électrique fond le métal interposé entre les deux électrodes ; on verse ensuite de l'alumine et l'on obtient un alliage d'aluminium et de cuivre.

Fours de Froges. — Les usines de Froges et de Neuhausen ont employé les fours Héroult pour la fabrication de l'aluminium. A l'apparition du carbure de calcium, les mêmes fours, dans ces usines, servirent à la fabrication de ce corps.

Ce four électrique, approprié à la fabrication du carbure de calcium et qui conserve, en France, le nom de *four de Froges*, est composé d'une électrode verticale pouvant recevoir un mouvement de montée ou de descente au-dessus d'une chambre dont le fond est en charbon et qui est montée sur roues. Cette chambre constitue ainsi un four mobile et sert de deuxième électrode ; les parois sont doublées de matière isolante. Le carbure est évacué, par voie de coulée, par un orifice ménagé à cet effet à la partie inférieure de la chambre de fusion.

Lorsqu'une opération est terminée, le four mobile est enlevé et remplacé par un autre.

Le four de Froges fut, industriellement, le point de départ de la plupart des fours électriques actuellement employés.

Fours industriels récents. — L'apparition du carbure de calcium fut le signal de la mise à l'étude de fours électriques à grand rendement et à fonctionnement continu.

Se basant sur les types classiques déjà connus qui viennent d'être décrits sommairement, les idées des inventeurs se partagèrent et des études qui furent mises au jour put bientôt se dégager une classification industrielle des fours électriques, savoir :

1° Ceux basés sur les fours Moissan et Siemens, dénommés *fours à arc ;*

2° Ceux basés sur le four Héroult, dénommés *fours à résistance ;*

3° Ceux enfin que l'on peut faire dériver du premier four Cowles, appelés *fours à résistance superficielle ou à incandescence.*

Fours a arc. — Les fours à arc peuvent se diviser en : fours à un seul arc à deux électrodes mobiles ; fours à un seul arc à une électrode mobile ; fours à plusieurs arcs.

Fours à un seul arc à deux électrodes mobiles. — Ils sont composés de deux électrodes placées le plus souvent dans une position inclinée et pouvant se remonter dans une chambre en maçonnerie réfractaire.

La matière à traiter est placée autour de l'arc ; elle est introduite par le haut du four. Ces fours comportent soit un mouvement d'ascension de l'arc électrique rendu mobile au-dessus de la matière à traiter, soit un mouvement de descente de cette matière au-dessous de l'arc électrique laissé fixe.

A la fin d'une opération, le courant électrique est ordinairement interrompu et la matière traitée est sortie du four.

A ce type appartiennent les fours Patin, les fours de la *Deutsche Gold und Silberscheide Anstalt* pour la production du carbure de calcium, et les fours Street pour la production du graphite.

Fours à un seul arc à une électrode mobile. — L'électrode mobile est alors ordinairement placée verticalement ; l'électrode fixe est placée horizontale ou inclinée, elle est constituée par un assemblage de charbons dénommé *sole.*

La matière est introduite par la partie supérieure du four et l'arc jaillit d'abord entre l'électrode mobile et la *sole*, puis entre l'électrode fixe et la matière fondue.

Il a été imaginé, sur ce principe, un très grand nombre de dispositions des organes d'attache des électrodes et de modes de connexion et de constitution des soles. La tension employée dans ce genre de four varie de 50 à 60 volts.

A cette catégorie se rattachent les fours électriques de la Société des Carbures métalliques figurant à l'Exposition, et les systèmes Siemens et Halske, Schuckert, etc., ainsi qu'un grand nombre d'autres fours qui sont actuellement employés dans les usines pour la fabrication du carbure de calcium et qui ne présentent, en dehors de l'emploi de l'arc, aucune disposition caractéristique.

Fours à arcs multiples. — Ce ne sont que des variantes des deux précédents, auxquels ils se rattachent comme principe. On a cherché à les employer, afin de répartir l'action calorifique de l'arc sur de plus grandes surfaces et d'arriver à obtenir dans un milieu donné et non pas seule-

ment *au point d'émission de l'arc électrique*, la température nécessitée par l'action thermique à mettre en jeu.

A cette catégarie se rattachent les fours électriques Gin et Leleux, modèle 1897, Bertolus ou Memmo, Nicolaï, Bovy, etc.

Le premier de ces fours a été employé pour la fabrication du carbure de calcium et pour celle du phosphore ; il était composé de quatre paires de charbons permettant l'utilisation de quatre arcs dans une même capacité et d'une sole mobile à mouvement hélicoïdal se déplaçant sous les arcs.

Les fours Bertolus sont employés par leur inventeur à l'usine de Bellegarde (Ain). Le courant électrique est triphasé et il est formé trois arcs au moyen de trois charbons mobiles inclinés se déplaçant au-dessus d'une sole commune, reliée électriquement à la dynamo ou non.

Les fours électriques Memmo sont semblables aux fours Bertolus.

Les fours Nicolaï sont composés d'une couronne métallique fixe recouverte de charbons et constituant un pôle ; l'autre pôle est constitué par plusieurs électrodes disposées circulairement et recevant un mouvement de rotation au-dessus de la couronne métallique fixe sur laquelle la matière à traiter se déverse, en suivant le mouvement de déplacement de l'arc électrique ainsi formé.

Le four Bovy est caractérisé par l'emploi, dans une même capacité, de plusieurs électrodes verticales et d'une sole commune inclinée servant au retour du courant, les électrodes étant, pour cela, montées en parallèle.

Considérations sur les fours à arc. — Dans ces fours la température obtenue semble varier avec l'intensité du courant (expériences de M. Moissan sur le titane). La tension à employer étant à peu près constante pour une application déterminée, il s'ensuit que dans des fours puissants la température est trop considérable dans l'arc électrique même. L'emploi d'arcs multiples ne remédie que très imparfaitement au défaut capital de l'emploi de l'arc électrique, qui est de produire en un point donné une température beaucoup trop élevée d'où il résulte une grande volatilisation des matières à traiter et quelquefois une dissociation du corps obtenu.

De plus, l'arc électrique a un pouvoir soufflant qui détermine dans les fusions ou réactions électro-métallurgiques un enlèvement considérable des matières fines introduites dans le four.

En dehors de la perte qui en résulte on a, par suite, à craindre la formation, dans la salle des fours et même à l'extérieur, d'une atmosphère irrespirable.

Le déplacement de la matière par rapport à l'arc électrique ou *vice versa* ne remédie qu'imparfaitement aux difficultés d'emploi de l'arc et a dû être généralement abandonné, car l'arc électrique rendu mobile, se comporte très mal ; sa résistance est, en effet, rendue infiniment variable, et la température obtenue est tantôt insuffisante, tantôt trop forte.

La fabrication rationnelle du carbure de calcium, notamment, est pratiquement impossible avec ce genre d'appareils à arcs mobiles.

Au point de vue industriel, il faut encore dire que, l'arc électrique étant *inductif*, son emploi comme résistance, sur un circuit alternatif, provoque un décalage du courant qui entraîne une chute de tension souvent considérable.

Fours a résistance. — Ces fours sont constitués comme les précédents, mais ils sont disposés pour fonctionner seulement à basse tension.

L'électrode verticale n'est plus, comme précédemment, placée au-dessus de la matière en fusion ; elle plonge dedans, et cette matière sert ainsi de conducteur intermédiaire entre l'électrode et la sole.

Le travail électrique est produit en vertu de la formule de Joule $W = RI^2$ et la température obtenue, pour une puissance déterminée, est fonction de la section des électrodes.

La répartition convenable de l'action calorifique est assez facile à obtenir puisqu'elle dépend, pour une tension déterminée, de la densité du courant employée.

Dans les fours basés sur ce principe, la fusion électrique est tranquille ; les gaz de la réaction ne sont pas violemment soufflés à l'extérieur du four, comme cela se produit avec l'arc électrique.

L'emploi des fours électriques à résistance a permis de faire usage, pour la fabrication du carbure de calcium, d'une tension de 20 à 25 volts seulement.

Le foyer électrique de ces fours ne donne lieu à aucun effet d'induction, mais, par contre, à puissance égale, il nécessite, pour les canalisations électriques, des sections plus fortes que les fours à arc, à cause des grandes intensités que l'on est conduit à employer avec la faible tension utilisée.

A cette catégorie de fours électriques appartiennent les nouveaux fours de la Compagnie électrométallurgique des procédés Gin et Leleux, qui sont employés dans un grand nombre d'usines pour la fabrication du carbure de calcium. Dans ces fours, l'électrode mobile servant au réglage de la tension est constituée par un assemblage de charbons de différentes conductibilités atteignant jusqu'à 800 mm de côté.

Fours a résistance superficielle et a incandescence. — Dans ce système de fours électriques, les électrodes à elles seules ne permettent pas le passage du courant ; il est nécessaire, pour provoquer ce passage, que ces électrodes soient réunies, au début de l'opération, par des conducteurs résistants quelconques, tels qu'une suite de morceaux de charbons.

Ces conducteurs sont alors portés à une vive incandescence par le courant électrique et constituent un lit de fusion sur lequel les matières à traiter sont placées. Ce genre de fours permet l'utilisation, dans une même capacité, d'une puissance plus grande que toute autre, car cette puissance, pour une intensité donnée, varie avec l'écartement des électrodes en longueur, écartement qu'il est facile de régler.

Ces fours ont sur les fours à résistance ordinaires le grand avantage que le courant électrique emprunte seulement, comme conducteur, une partie de la matière déjà traitée et n'est pas obligé de la traverser tout entière. On évite ainsi les pertes dues à la résistance souvent considérable que cette couche de matière traitée présente dans certains fours constitués par une sole et une électrode verticale.

A cette catégorie de fours appartiennent les fours Cowles et d'autres fours récemment mis à l'étude et se composant soit de deux groupes d'électrodes, l'un servant à l'arrivée du courant, l'autre à son retour, soit de deux groupes de soles jouant respectivement le même rôle que les électrodes.

Classification des fours électriques d'après la nature du courant employé. — Les fours électriques se différencient aussi entre eux d'après la nature du courant électrique dont ils font usage et la manière dont il agit.

Après avoir employé uniquement, au début, comme source d'énergie électrique, les moteurs à courant continu, on a été successivement amené à chercher à utiliser les machines à courant alternatif, monophasé et polyphasé.

Fours à courant continu. — Les premiers fours électriques fonctionnant avec du courant continu, et dans lesquels il y a électrolyse ont été désignés sous le nom de *fours électrolytiques* par opposition à ceux dénommés *fours électrothermiques*.

On admet alors que, dans les premiers, le courant électrique sert à la fois de source de chaleur et d'agent électrochimique, tandis que dans les seconds il sert seulement de source de chaleur.

Fours à courant alternatif. — L'emploi du courant alternatif dans les fours électriques a pris une grande extension parce qu'il assure un meilleur fonctionnement mécanique, les machines électriques à courant alternatif ayant moins à souffrir que les machines à courant continu des brusques variations de résistance qui peuvent se produire dans la marche des fours électriques.

Les fours électrothermiques employés pour les simples fusions des corps ou pour les réactions à haute température fonctionnent, par suite, la plupart, avec des courants alternatifs ; les actions électrolytiques qui interviennent avec l'emploi du courant continu et qui, parfois, jouent un rôle nuisible dans l'opération, sont ainsi évitées et, de plus, les électrodes constituant les deux pôles s'usent également. Nous avons signalé d'autre part déjà que l'emploi du courant alternatif peut

entraîner une chute de tension par suite d'un décalage du courant dû à un effet d'induction. L'emploi du courant alternatif dans les fours électriques a donné lieu, pour ceux-ci, à des groupements électriques multiples.

Fours électriques à courant alternatif monophasé. — Avec le courant alternatif monophasé les fours électriques peuvent être placés en série ou en parallèle, tout comme des résistances ordinaires.

La pratique indique cependant qu'il ne faut placer, dans aucun de ces cas, un trop grand nombre d'unités sur un même circuit.

Dans la mise en série, l'arrêt de l'un des fours entraînant l'arrêt de la batterie entière, on place rarement plus de deux fours sur le même circuit.

Les avantages du groupement des fours électriques en série sont ceux qui résultent de l'emploi d'une tension plus élevée, car les poids de cuivre à mettre en jeu pour deux fours, par exemple, sont moitié moindres, pour une tension de régime de four donnée, que dans le cas de l'emploi d'un seul four sur le circuit; les effets d'induction sont aussi moins considérables.

Les fours à arcs se comportent mieux, quand ils sont groupés en quantité sur un circuit que s'ils sont groupés en série, car ils peuvent être, dans ce dernier cas, sujets à des variations brusques, principalement à l'allumage, ce qui n'a pas lieu avec des fours groupés en quantité. Ceux à incandescence, étant donnée leur grande régularité de marche, peuvent au contraire être utilisés très avantageusement en tension.

Fours à courants alternatifs polyphasés. — On a cherché à utiliser directement les courants alternatifs polyphasés dans les fours électriques. Un brevet pris par Bertolus en 1897 se rapporte à un four électrique utilisant directement le courant triphasé.

Comme nous l'avons déjà dit, ce four est composé de trois électrodes réunies respectivement aux trois bornes de la dynamo, le retour se faisant ou non par une sole commune.

Ce système a été appliqué à la construction des fours électriques pour la fabrication du carbure de calcium. Le courant biphasé pourrait être utilisé de la même façon.

Le plus généralement, les différentes phases des courants polyphasés sont utilisées séparément dans les fours électriques, qui fonctionnent alors comme fours monophasés.

Si nous considérons trois fours constitués chacun par une électrode verticale mobile et une sole, et alimentés par un alternateur triphasé, les trois électrodes seraient réunies au pôle neutre de la machine et les trois soles à ses trois bornes.

L'emploi du courant triphasé permet, par rapport à celui du courant monophasé, de réaliser une notable économie de cuivre dans l'installation des canalisations, car celles-ci peuvent avoir pour le retour une section moins forte.

L'emploi séparé des courants monophasés, composant un circuit triphasé, procure l'avantage d'obtenir sans aucun dispositif spécial, avec une même machine d'alimentation, l'indépendance des trois circuits.

L'indépendance des circuits peut être aussi obtenue avec un seul alternateur monophasé à six bornes composé de trois groupes distincts de bobines.

Électrodes. — La difficulté d'obtenir des électrodes de dimensions suffisantes et de forme convenable a longtemps limité les dimensions et la puissance des fours. La consommation de ces électrodes constitue ainsi, pour certaines fabrications et notamment pour celle du carbure de calcium, un élément important de la production économique.

Aussi l'ingéniosité des inventeurs s'est-elle exercée sur les dispositions à donner à ces électrodes.

Dans les cas où les fours comportent des électrodes verticales mobiles, ces électrodes sont souvent constituées par un assemblage de charbons de haute conductibilité obtenus par une fabrication spéciale.

Ces électrodes sont alors le plus souvent de forme carrée ou rectangulaire.

Les électrodes horizontales ou inclinées traversant les parois des fours sont, au contraire, le plus souvent cylindriques.

Les charbons de haute conductibilité qui composent l'électrode étant exposés à brûler au

contact de l'oxygène de l'air, par suite de la haute température à laquelle ils sont portés, on a cherché à les protéger en les isolant de l'air et les refroidissant par un afflux d'eau dans les parties exposées ; on trouve des exemples de ces dispositions dans les fours Gin et Leleux d'ancien modèle et dans les fours Patin.

La distribution d'eau autour des électrodes est difficilement réalisable et peut constituer un danger sérieux. On y a substitué, dans les derniers modèles des fours Gin et Leleux, un afflux d'air froid en ayant recours, en outre, à une enveloppe d'agglomérés protecteurs.

Courants. — Les fours électriques employés pour la fabrication du carbure de calcium fonctionnant à des tensions relativement peu élevées utilisent des courants de haute intensité, et l'on emploie fréquemment aujourd'hui des courants d'intensité de 8 000 à 10 000 ampères. Il est impossible, pour de telles intensités, d'installer des coupe-circuits, et c'est l'électrode mobile du four qui sert d'interrupteur sur la canalisation.

Lorsqu'un four est mis brusquement hors circuit, par suite d'une rupture ou d'une fausse manœuvre d'électrode par exemple, la résistance devenant nulle, la machine électrique est déchargée d'un seul coup.

Si elle alimente seulement ce four, cette brusque décharge peut occasionner des accidents graves, soit à la dynamo, soit à la machine à vapeur ou à la turbine.

Pour cette raison, ajoutée à celles que nous avons déjà données, il est préférable, quand on le peut, d'alimenter plusieurs fours en parallèle avec une même machine. En cas d'arrêt de l'un d'eux, la variation n'est plus alors qu'une fraction de la puissance totale.

Les données des courants employés dans les fours électriques varient dans des limites très étendues, suivant la nature des réactions et des fabrications demandées à ces appareils, et aussi suivant la puissance utilisée dans chacun d'eux.

1° *Tension.* — Dans les fours à arcs, la tension employée varie suivant la conductibilité électrique des vapeurs qui sont émises par la matière traitée, à une haute température, et d'après l'écartement donné aux électrodes.

Cet écartement est ordinairement, en pleine marche, de 30 mm. à 40 mm.; en l'augmentant trop, on risque de produire l'*extinction de l'arc* et ainsi de rompre le circuit.

La fabrication du carbure de calcium nécessite, pour les fours à arcs, une tension de 50 à 60 volts. La fusion de la bauxite, pour la fabrication du corindon artificiel, nécessite également, dans ce même genre de fours, une tension de 50 volts.

La fusion des minerais de fer, sous l'action de l'arc électrique, peut être réalisée à la tension de 20 volts, par suite de la grande conductibilité des vapeurs émises.

Dans les fours à résistance, dans lesquels l'arc ne jaillit pas, la tension peut être moins élevée, elle n'est fonction que du coefficient de conductibilité de la matière à traiter ; ainsi la fabrication du carbure de calcium dans un de ces fours, du type à électrode verticale mobile, peut être réalisée facilement à une tension ne dépassant pas 25 volts. Dans la fabrication de l'aluminium, le four Héroult fonctionne entre 20 et 25 volts.

Dans les fours à résistance superficielle, par suite de la disposition des électrodes, qui permettent d'introduire entre elles une grande quantité de matière à traiter, la tension de régime peut être facilement portée de 80 à 100 volts.

2° *Intensité.* — L'intensité employée dans les différents systèmes de fours électriques dépend seulement de la puissance de l'appareil et de la température à obtenir, la tension seule variant suivant la matière à traiter ou le type de four employé.

Dans les fours Cowles, il a été réalisé des intensités atteignant jusqu'à 5 000 ampères, ce qui correspond, pour une tension de 50 à 60 volts, à une puissance de 250 à 300 kilowatts.

Dans le four Héroult, l'intensité du courant atteint 6 000 ampères.

Pour la fabrication du carbure de calcium, des fours à un seul arc et à deux électrodes mobiles ont été construits pour des intensités de 1 000 à 2 500 ampères, ce qui, à la tension de 50 volts ordinairement employée, représente 50 à 125 kilowatts.

Ces puissances ont été doublées, triplées et même quadruplées, par la réunion, dans un même four, de deux, trois ou quatre arcs.

Les fours à un seul arc, à une électrode verticale mobile, sont mieux disposés que ceux à deux électrodes mobiles pour utiliser des courants électriques de grande intensité, étant donnée la plus grande facilité qu'ils présentent pour employer des électrodes de grande section.

Dans ce genre de fours électriques, on atteint maintenant couramment des intensités de 5000 à 6000 ampères, ce qui correspond à une puissance de 300 kilowatts.

Les fours électriques à résistance Gin et Leleux, dans lesquels la tension employée est très faible, étant donnée la suppression complète de l'arc électrique, utilisent des courants d'intensité atteignant 10 000 ampères.

Dans les fours à résistance superficielle, dans lesquels une quantité considérable de matière à traiter peut être interposée entre les électrodes, la puissance utilisée par un seul appareil doit pouvoir atteindre 1 000 kilowatts avec un courant de 10 000 ampères.

Développement des industries employant les fours électriques. — Types exposés. — D'après des évaluations récentes, la puissance employée à l'aide de fours électriques s'élève déjà au chiffre considérable de près de 230 000 chevaux au total, sur lesquels la fabrication du carbure de calcium utiliserait 185 000, celle de l'aluminium 27 000, celle du cuivre 11 000, et celle du carborundum 2 000 chevaux.

En France seulement, plus de 60 000 chevaux sont réservés à la fabrication du carbure de calcium.

La fabrication mixte du phosphore et du carbure de calcium au four électrique a été abordée l'année dernière, et tout récemment sont apparues les fabrications, dans certaines usines de la Savoie, du vanadium et du ferrochrome.

Il faut encore citer, en dehors des productions dont nous venons de parler, la fabrication du corindon artificiel, produit dû à la fusion de la bauxite au four électrique.

Les progrès réalisés dans le mode de construction des fours électriques industriels ont été, dans ces derniers temps, très considérables ; ainsi le rendement de ces appareils, pour la fabrication du carbure du calcium, qui atteignait seulement 3 kg par kilowatt et par vingt-quatre heures en 1897, vient d'être porté, dans ces derniers temps, dans les fours Gin et Leleux à 6,200 kg, ce qui correspond pour ces fours à un rendement calorifique de 75 p. 100 environ.

A l'Exposition de 1900, dans l'Annexe de la section d'Electrochimie, on trouve en fonctionnement trois spécimens de fours électriques différents. Ils sont alimentés par du courant alternatif à la tension de 40 volts et absorbent de 1 000 ampères à 2 500 ampères.

Ils comprennent un four Moissan, un four de la Société des Carbures métalliques, ou four Bullier, et un petit modèle de four de la Compagnie électrométallurgique des procédés Gin et Leleux. Cette Société expose aussi un de ses grands fours pour la fabrication du carbure de calcium, mais le courant disponible n'est pas suffisant pour le faire fonctionner.

Le four Moissan exposé est un four de laboratoire ; il fonctionne généralement à 40 kilowatts et est utilisé pour des expériences de fusion des métaux, de réduction de minerais, de production de diamants, de distillation de la silice, etc.

Le four Bullier exposé se compose d'un creuset ouvert constituant l'un des pôles dans lequel plonge une électrode verticale mobile, laissée à l'air libre et constituant l'autre pôle. Ce four, qui est surmonté d'une hotte, est utilisé pour la production du carbure de calcium au moyen de l'arc électrique et il consomme environ 70 kilowatts.

Le four Gin et Leleux appartient à la classe des fours à résistance dans lesquels on évite la formation de l'arc ; c'est une réduction des fours industriels de même nom, et il est constitué comme ces derniers par une maçonnerie fixe en matières réfractaires enveloppant un creuset métallique mobile monté sur roues qui forme la sole constituant l'autre pôle et est muni d'un bec de coulée. L'électrode verticale mobile pénètre par une ouverture rectangulaire dans la maçonnerie.

Les fours Gin et Leleux présentent encore cette particularité que des dispositions sont prises pour évacuer les gaz chauds de la réaction et faire disparaître de la salle qui les contient les fumées et les poussières. Ils sont disposés pour effectuer des coulées fréquentes jusqu'au moment où l'usure de l'électrode oblige à terminer les opérations par la production d'un bloc dont l'enlèvement est rendu facile par la mobilité du creuset. Le four de petit modèle exposé fonctionne à 70 kilowatts environ.

En dehors des fours réunis dans l'annexe de la section d'Électrochimie, nous n'avons trouvé, à l'Exposition, qu'un plan du four Memmo dans la section italienne. (*A suivre.*)

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

ACADÉMIE DES SCIENCES

Séance du 6 août 1900.

Sur les circuits formés uniquement par les électrolytes, par **Camichel** et **Swyngedauw**. *Comptes rendus*, t. CXXXI, p. 375-377.

Généralement on amène le courant dans un électrolyte par des électrodes métalliques, sur lesquelles se dégagent les produits de la décomposition et on envisage un électrolyte comme ne pouvant être traversé par un courant sans subir de décomposition. Les auteurs ont cherché s'il était possible de développer des courants dans des circuits *entièrement électrolytiques* et si le passage de pareils courants avait toujours pour conséquence une décomposition.

1° Pour essayer de développer des courants ils ont utilisé : *a*. les phénomènes d'induction ; *b*. la force électromotrice de contact entre solutions métalliques.

a. L'expérience est disposée comme suit : Un transformateur dont le primaire est formé par deux bobines montées en quantité reçoit du courant alternatif sous le voltage 190 volts, et à la fréquence 60. Au retour des tôles, dans l'espace compris entre les deux bobines, on place le circuit électrolytique qui est formé par une chambre à air de bicyclette, contenant de l'eau acidulée et formant cinq spires dont les extrémités sont fixées solidement à un tube d'ébonite, creux, portant un ajutage latéral, qui sert pour le remplissage et la compression de l'acide dans la chambre à air. En son milieu, le tube d'ébonite est presque complètement coupé et l'électrolyte passe dans un tube de verre, ayant comme section intérieurs 1 mm² et comme épaisseur $\frac{1}{20}$ de millimètre. On comprime de l'eau acidulée de densité 1,2 dans la chambre à air, les spires s'arrondissent et se gonflent. La résistance du circuit électrolytique est, dans ces conditions, de 70 ohms environ, et un circuit métallique semblable au précédent est le siège d'une force électromotrice efficace de $3^{volts}, 5$.

La production de chaleur dans le tube étroit doit être, d'après la loi de Joule, d'environ une petite calorie par deux minutes. La masse d'eau contenue dans le tube étroit, étant très faible, s'échauffe et une pince thermo-électrique, constantan-fer. met en évidence l'élévation de température qui est très nette ; des expériences de contrôle montrent que l'échauffement n'est pas dû à des perturbations.

On constitue une chaîne liquide formée par de l'acide sulfurique, du chlorure de sodium, de la potasse en solution dans l'eau. Les surfaces de contact se renouvelaient par une circulation continue.

La sensibilité de l'appareil galvanométrique employé n'a pas permis de déceler nettement le courant qui peut se produire dans ces conditions.

2° Pour reconnaître si le passage du courant est accompagné d'électrolyse, les auteurs ont induit un courant alternatif dans un circuit électrolytique (eau acidulée de densité 1,25) contenu dans un tube de verre en des conditions où le voltamètre aurait décelé la mise en liberté de plusieurs mètres cubes de gaz, et ils n'ont observé aucun dégagement gazeux. *Un électrolyte pourrait donc être traversé par un courant sans décomposition.*

« Dans cette électrolyse sans électrodes, ajoutent les auteurs, la polarisation ordinaire est supprimée; mais n'existe-t-il pas un phénomène moléculaire qui joue un rôle analogue ? ».

Le Gérant : C. NAUD

Tome XXIV. — Samedi 1er Septembre 1900. — 7e Année. — N° 35

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

EXPOSITION UNIVERSELLE

LES APPAREILS DE LABORATOIRES DE LA SECTION ALLEMANDE

De toutes les nations étrangères l'Allemagne est certainement celle dont l'exposition est, particulièrement au point de vue électrique, une des plus intéressantes. Pour les appareils qui nous occupent ici, il ne faut pas se borner à les examiner dans le palais de l'Électricité, où les installations ont été terminées très tard, mais il faut aussi aller les chercher dans l'Exposition collective des mécaniciens et opticiens allemands. « Classe 15, 1er étage, aile de l'avenue de Suffren. »

Les appareils allemands, comme d'ailleurs ceux des autres pays, ne présentent pas beaucoup de nouveautés, mais ils diffèrent cependant assez de ceux que nous avons l'habitude de voir en France pour que leur étude soit fructueuse ; ils marquent, en outre, un progrès considérable de la part de l'industrie allemande et, même à ce titre seul, ils méritent d'attirer l'attention de nos constructeurs.

Dans la série des *galvanomètres* le fait le plus intéressant à constater est le développement considérable des applications du galvanomètre à cadre mobile, si connu chez nous sous le nom de Deprez et d'Arsonval. Après l'avoir timidement employé comme appareil de laboratoire, un peu rustique, on lui a demandé une sensibilité de plus en plus grande, tandis que d'autre part, on réduisait cette sensibilité pour en faire un instrument industriel. Le galvanomètre Deprez-d'Arsonval est aujourd'hui un appareil universel qui tend à se substituer de plus en plus aux anciens modèles à aimants mobiles.

Il est intéressant de noter la sensibilité limite obtenue actuellement : Hartmann et Braun exposent un galvanomètre qui donne 1 mm de déviation, pour un courant de 3×10^{-10} ampère ! quand la distance de l'échelle au miroir est de 1 m. A l'opposé on peut voir, dans

l'exposition de l'Allgemeine Elektricitäts Gesellschaft, un ampèremètre à cadre mobile muni d'un shunt pour 8000 ampères ; ceci n'a d'ailleurs rien de particulier et il serait aussi facile, le cas échéant, d'en construire un pour 20 000 ou 50 000 ampères. Ce rapport entre les extrêmes, qui se chiffre environ par 10^{-14}, en dit plus long que tout autre commentaire sur les qualités du galvanomètre à cadre mobile.

La grande sensibilité dont nous venons de parler ne s'obtient évidemment qu'en augmentant le volume du fil sur le cadre mobile et en diminuant le couple du fil de suspension, toutes choses qui augmentent notablement la durée d'oscillation et rendent les mesures assez longues, mais, néanmoins, la stabilité de zéro qu'on obtient avec ces appareils fait qu'ils sont encore beaucoup supérieurs aux galvanomètres genre Thomson.

On trouve également des galvanomètres à cadre mobile, de modèles très variés, chez tous les autres constructeurs allemands : Siemens et Halske, Keyser et Schmidt, Edelmann.

Cette substitution du cadre mobile à l'aimant mobile est visible dans toutes les applica-

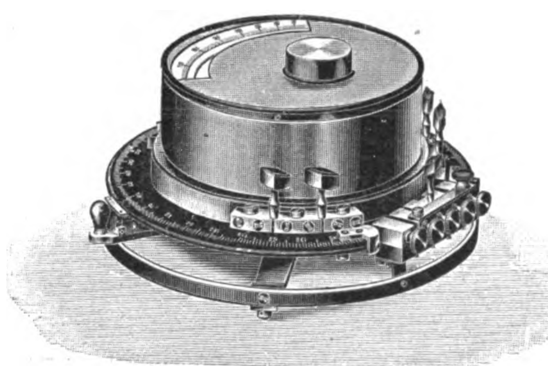


Fig. 1. — Galvanomètre universel Siemens.

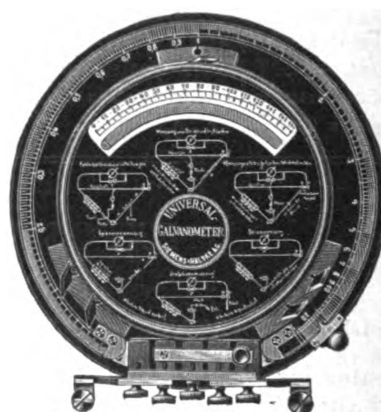


Fig. 2. — Galvanomètre universel Siemens.

tions ; c'est ainsi qu'un appareil, peu connu en France, mais assez répandu en Allemagne, le *galvanomètre universel* de Siemens, revient d'actualité et prend un intérêt considérable depuis que l'incommode galvanomètre astatique a été remplacé par un galvanomètre Deprez d'Arsonval. On sait en quoi consiste l'instrument : le fil d'un pont Wheatstone est enroulé sur le socle rond de l'appareil (fig. 1 et 2) ; un curseur, porté par un levier pivotant sur le centre du socle, se déplace sur le fil, lorsqu'il est manœuvré par la manette que l'on voit sur la gauche de la figure 1, et il permet ainsi, comme dans le pont à fil ordinaire, de ramener la comparaison de deux résistances à celle de deux longueurs de fil. Des résistances de valeurs différentes sont reliées au commutateur placé en avant de l'appareil et des clefs permettent toutes les combinaisons et les manipulations nécessaires.

L'ensemble est complété par des shunts et des résistances de circuit destinées à permettre l'emploi du galvanomètre universel comme voltmètre ou ampèremètre, et aussi pour la mesure des isolements.

Le galvanomètre universel permet de mesurer directement 0,15 ampère et, à l'aide de shunts séparés et extérieurs, une intensité quelconque. Les forces électromotrices jusqu'à 150 volts et les résistances de 0,03 à 30 000 ohms sont également mesurables directement. Les isolements jusqu'à 1 megohm peuvent être mesurés à l'aide d'une batterie de 110 volts. Une idée assez originale a été de graver sur le couvercle de l'appareil (fig. 2), le schéma

de connexions à établir pour les différentes mesures : résistances métalliques et résistances électrolytiques, forces électromotrices et intensités, isolement et recherche des défauts.

Quand on a besoin de très grandes sensibilités il faut, quand même, revenir aux galvanomètres à aimants mobiles. Les deux modèles de Du Bois et Rubens, exposés par Siemens et Halske, sont très intéressants à cet égard. Disposés à peu près comme les galvanomètres Thomson et Siemens, ils offrent cette particularité d'être complètement enveloppés dans une double cuirasse en fer, destinée à les protéger contre les variations magnétiques ambiantes.

Dans le petit modèle (fig. 3), les deux enveloppes sont sphériques et dans l'intervalle

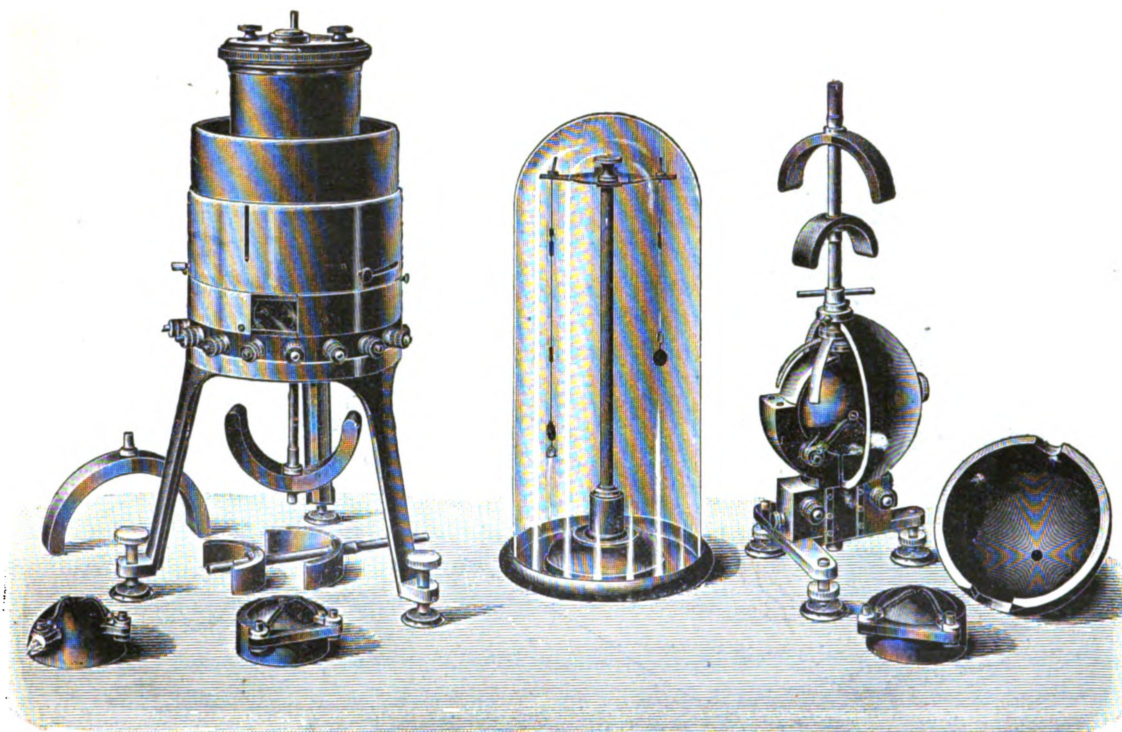


Fig. 3. — Galvanomètres Du Bois et Rubens.

laissé entre elles se loge une paire d'aimants directeurs en arc de cercle; ceux-ci sont manœuvrés à l'aide de deux tiges cylindriques que l'on voit immédiatement au-dessus de l'enveloppe extérieure ; ils peuvent seulement tourner sur l'axe. Une seconde paire d'aimants directeurs se meut extérieurement sur une tige verticale. Les bobines sont montées chacune dans une carcasse hémisphérique en acier fondu, comme celle qui est représentée au pied du galvanomètre, et elles ont chacune 2 000 ohms ; d'autres bobines de 5 et 100 ohms peuvent leur être substituées.

Dans le grand modèle à 4 bobines les enveloppes de fer sont cylindriques, celle de l'extérieur est mobile dans le sens vertical. Il y a deux paires d'aimants directeurs, une au-dessous, l'autre au-dessus ; toutes deux extérieures aux enveloppes. Comme dans le précédent, les bobines ont 2 000, 100 ou 5 ohms.

Ces deux galvanomètres sont munis chacun de deux équipages astatiques : l'un relativement lourd, pour les observations courantes, l'autre extrêmement léger, avec de très

petits aimants, pour les expériences délicates. D'après les expériences de Du Bois et Rubens, on obtient avec ces galvanomètres les sensibilités suivantes, exprimées sous la forme de la constante d'Ayrton :

	Modèle à 2 bobines.	Modèle à 4 bobines.
Équipage lourd	80	160
— léger	800	1 000

On sait que la constante d'Ayrton représente la déviation en millimètres que donne un courant de 1 microampère traversant le galvanomètre, lorsque la distance de l'échelle au miroir est de 2 mètres et la durée d'oscillation de 5 secondes. On ramène toujours, par le calcul, les résultats à ceux que donnerait un galvanomètre de 1 ohm de résistance.

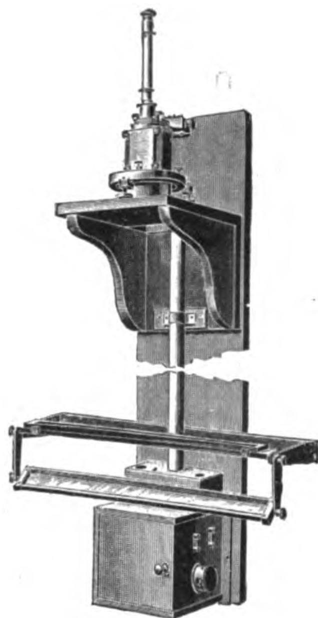


Fig. 4. — Supportde galvanomètre. (Siemens et Halske).

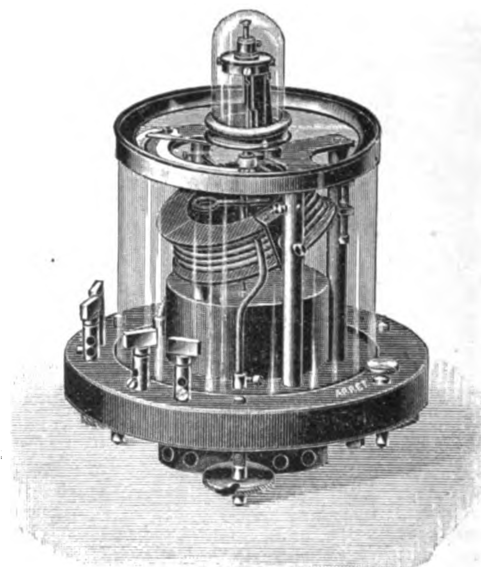


Fig. 5. — Electrodynamomètre Hartmann et Braun. (1/4 grandeur nature).

La même constante appliquée aux observations balistiques, par la substitution du microconlomb et des élongations au microampère et aux déviations permanentes, donne :

	Modèle à 2 bobines.	Modèle à 4 bobines.
Équipage lourd	50	100
— léger	500	630

Dans l'exposition d'Edelmann, de Munich, on voit le microgalvanomètre de Rosenthal, instrument à peu près inconnu en France. C'est un galvanomètre à quatre bobines, muni d'un équipage à aimants *verticaux* et parallèles, un peu dans le genre de l'équipage Weiss, mais avec cette particularité que les extrémités des aimants sont recourbées. Cet appareil, un peu compliqué, ne présente plus guère aujourd'hui qu'un intérêt rétrospectif.

Avant de quitter les galvanomètres, il y a lieu de dire quelques mots d'une disposition assez ingénieuse, présentée par Siemens et Halske, qui consiste à placer le galvanomètre sur une console accrochée au mur (fig. 4), et à mettre l'échelle et la lampe d'éclairement au-dessous ; un système de prismes et de miroirs permet d'éclairer le miroir mobile et de renvoyer l'image réfléchie sur l'échelle. Cet ensemble, monté sur une planchette, peut

être placé à la hauteur convenable pour que l'échelle soit en face de l'observateur ; on gagne ainsi beaucoup d'espace et le galvanomètre reste à l'abri des trépidations et des mouvements imprimés à la table sur laquelle on travaille.

L'*électrodynamomètre* de Hartmann et Braun (fig. 5), diffère notablement des appareils du même genre. Il se compose d'une bobine fixe, sorte de solénoïde plat dont l'axe est incliné sur la verticale, et de deux bobines mobiles montées aux extrémités d'un bras horizontal.

L'ensemble des deux bobines et du bras peut tourner autour d'un axe vertical passant par le centre de gravité. Un ressort, en métal non magnétique, et un fil de suspension amènent le courant aux bobines mobiles ; une palette d'aluminium, fixée à la partie inférieure de l'axe, tourne dans une boîte cylindrique et assure un amortissement convenable. Les bobines mobiles sont connectées de telle sorte qu'elles forment un système astatique et que, sous l'influence du courant qui les traverse, elles tendent à se rapprocher du solénoïde fixe. Cette disposition donne une échelle assez proportionnelle et permet également, en faisant varier les positions relatives des bobines, d'obtenir des échelles quelconques. Cet appareil peut être employé comme électrodynamomètre, en plaçant les bobines mobiles en dérivation sur les bobines fixes, ou comme wattmètre ; nous retrouverons cette disposition dans les appareils industriels.

Un *électromètre* intéressant est exposé par G. Bartels, de Gottingue, c'est celui du professeur Nernst. Cet appareil est double, c'est-à-dire qu'il est composé de deux électromètres à quadrants, superposés l'un à l'autre, dont les aiguilles sont reliées invariablement entre elles. La charge des aiguilles est assurée par un moyen original : l'axe qui réunit les aiguilles est un tube léger dans lequel est enfermée une pile sèche de Dolezalek et Nernst, de sorte que les deux aiguilles sont toujours chargées à des potentiels dont la différence, $V - V'$, est égale à la force électromotrice de la pile. Les deux séries de quadrants étant reliées à la différence de potentiel à mesurer de façon à ce que les forces électrostatiques s'ajoutent, on obtient, sans pile de charge extérieure, ni sans replenisher, un électromètre dont la sensibilité est très grande. Bien entendu cette disposition ne s'applique pas aux courants alternatifs.

La théorie s'établit aisément en partant de la formule de Maxwell. Si nous appelons V et V' les potentiels des deux aiguilles, V_1 et V_2 les potentiels des paires de quadrants, le couple électrostatique exercé sur chaque aiguille sera :

$$\theta = A(V_1 - V_2)\left(V - \frac{V_1 + V_2}{2}\right), \qquad \theta' = A(V_1 - V_2)\left(V' - \frac{V_1 + V_2}{2}\right),$$

et, finalement, puisque les connexions sont telles que les actions s'ajoutent :

$$\theta + \theta' = A(V_1 - V_2)(V - V');$$

les déviations observées sont donc proportionnelles aux différences de potentiel, $V_1 - V_2$ mesurées [1].

Avec cet instrument le professeur Dolezalek a obtenu, à 207 cm de distance entre l'échelle et le miroir, une déviation de 35,8 mm pour 0,01 volt.

La pile de Dolezalek et Nernst employée est une sorte d'accumulateur composé d'un grand nombre de couples peroxyde de plomb et étain ; la différence de potentiel $V - V'$ peut atteindre quelques centaines de volts. La suspension étant faite à l'aide d'un fil de

(1) *Elektrotech. Zeitsch.*, 1897.

quartz, les aiguilles sont complètement isolées et conservent bien leur charge. L'appareil est complété par une série d'organes destinés à supporter les aiguilles et à les maintenir isolées pendant le transport.

L'Institut Impérial de Physique de Berlin (Reichsanstalt), montre, à la classe 15, une série intéressante d'*appareils* et d'*étalons*. L'élément étalon Clark construit par cet établissement ne diffère guère, à l'extérieur, des modèles analogues connus, mais la disposition intérieure est assez éloignée de celle indiquée par les instructions officielles du Congrès de Chicago. Le mercure pur y est remplacé par une feuille de platine amalgamé, entourée de la pâte de sulfate de mercure et de sulfate de zinc ; le tout est enfermé dans un vase poreux. Ce dernier est placé au milieu de cristaux de sulfate de zinc, baignés par une solution concentrée du même sel, et une baguette de zinc pur est plongée au milieu des cristaux. Un thermomètre, plongé également dans les cristaux, complète l'étalon qui est fermé à la manière ordinaire au moyen de bouchon, de paraffine et de cire.

L'étalon au cadmium est renfermé dans une boite en métal perforé et n'a pas de thermomètre, ce qui se comprend facilement puisque, dans les limites ordinaires de la température ambiante, la variation de la force électromotrice atteint à peine 3 à 4 dix-millièmes. Cet étalon, appelé en Allemagne étalon Weston, tend de plus en plus à se substituer à l'étalon Clark. On sait qu'on doit sa perfection actuelle aux nombreuses et patientes recherches exécutées au Reichsanstalt [1].

La copie de l'étalon de l'ohm en mercure diffère aussi des modèles en usage en France. Le tube courbé qui renferme le mercure est rempli, une fois pour toutes, dans le vide, et ensuite scellé. Trois fils de platine, soudés dans le verre de chaque ampoule terminale, servènt à établir les connexions. On sait que ces étalons sont mesurés par une méthode différentielle spéciale, destinée à éliminer la résistance des contacts ; à cet effet, un des fils de platine de chaque ampoule sert à amener le courant, le second détermine le point où la résistance commence, c'est-à-dire le point où il faut mesurer la différence de potentiel et le troisième sert à diminuer la résistance au moyen d'un shunt ; c'est en faisant varier la résistance de ce shunt qn'on arrive à comparer les différents étalons entre eux.

Dans les étalons à fil solide, comme dans les boites de résistances, le fait le plus saillant paraît être la substitution du manganin au maillechort. Cet alliage de cuivre et de manganèse possède un coefficient de variation pratiquement nul, de sorte que les corrections de température sont inutiles. Cet avantage est encore plus marqué pour les boîtes à pont, car on sait que la grande cause d'erreur, dans les mesures faites avec ces boîtes, réside surtout dans l'échauffement inégal des différentes bobines, ce qui fausse notablement les rapports.

L'emploi du manganin « manganine en Allemagne » ne va pas sans quelques difficultés et il a fallu les persévérantes études faites au Reichsanstalt pour donner à cet alliage la place qu'il paraît devoir occuper aujourd'hui. L'un des plus gros inconvénients que l'on peut craindre, c'est la variation de résistance avec le temps ; il paraît que l'on obtient un *vieillissement* artificiel suffisant par un chauffage à 180° pendant dix heures ; après cette opération, le fil a atteint un régime très stable.

Comme forme, les *boîtes de résistances* allemandes diffèrent peu de ce que l'on connaît déjà, le seul point à signaler, c'est la substitution de plus en plus fréquente, des contacts glissants aux clefs. Il est évident que l'emploi des fiches est plus sûr pour les mesures précises ; mais comme celles-ci sont relativement rares, les contacts glissants, qui sont plus commodes

---

[1] Voir *L'Éclairage Électrique*.

et exigent moins d'attention, doivent prendre une place plus grande. Il y a lieu d'ajouter que ces contacts sont quelquefois réalisés avec un luxe de précautions considérable. C'est ainsi que dans les potentiomètres de Siemens et de Feussner, les frotteurs à lames multiples, analogues à ceux que l'on fait pour des interrupteurs de 50 ampères environ, glissent sur de larges plots en laiton. De plus, pour éviter la résistance variable du contact lorsque le courant passe par l'axe de rotation de la manette, celle-ci, dans les boîtes de Siemens, (fig. 7), est reliée à la partie fixe de l'axe par une lame de cuivre souple formant une spirale qui se ferme plus ou moins quand la manette se déplace. Il est évident que des contacts glissants ainsi réalisés présentent une grande sécurité, mais il y a lieu de se demander si leur manœuvre n'est pas aussi longue que celle des fiches ?

Un rhéostat assez intéressant a été construit par Otto Wolff, de Berlin, pour le Reichsanstalt. Il consiste en plusieurs séries de résistances en fil de manganin enroulées sur des feuilles de mica ; il n'y a sur chaque feuille qu'une seule couche de fil, ce qui assure un bon refroidissement et la self-induction est réduite à son minimum puisque chaque spire présente une surface négligeable. De plus, la résistance est ainsi extrêmement divisée, de sorte qu'il est possible d'augmenter le courant qui la traverse sans avoir à craindre une différence de potentiel trop élevée entre deux fils voisins. Des balais en feuilles d'argent minces glissent sur les fils dénudés de la tranche des feuilles de mica et établissent la connexion, de sorte que la variation de résistance, qui se fait spire par spire, est à peu près continue. Les balais sont commandés par des manettes extérieures et ils entraînent avec eux un ruban sur lequel une série de numéros indique approximativement, en passant devant une petite fenêtre, la valeur de la résistance intercalée dans le circuit. Cette boîte peut aller jusqu'à 100,000 ohms.

La *méthode potentiométrique* fait partout de grands progrès, la plupart des grands constructeurs ont exposé des appareils adaptés à cet usage et basés tous sur la méthode de Poggendorff. On sait que dans cette méthode, la force électromotrice à mesurer est mise en série avec un galvanomètre et forme une dérivation sur un circuit parcouru par un courant constant; on règle l'intensité du courant ou la résistance du circuit jusqu'à ce que la différence de potentiel aux bornes de la dérivation soit égale à la force électromotrice à mesurer, ce que l'on vérifie par le retour au zéro du galvanomètre.

Le potentiomètre de Feussner, construit par Otto Wolff, est disposé de telle sorte qu'il y ait toujours entre les bornes de droite, + B et — B, (fig. 6), une résistance totale de 15 000 ohms environ, — exactement 14999,9. — Tandis que la résistance comprise entre les points de dérivation peut prendre toutes les valeurs comprises entre 0,1 et 15 000 ohms. Ce résultat est obtenu à l'aide des cinq cadrans que l'on voit sur la figure. Le premier cadran renferme 14 bobines de 100 ohms, le second 9 bobines de 100 ohms ; des contacts glissants permettent de relier un point quelconque de chaque série avec un arc de laiton placé près de l'axe de rotation de la manette correspondante. Ces deux arcs de laiton forment un point de départ de la dérivation ; ils peuvent être reliés à l'étalon ou à la force électromotrice à mesurer en manœuvrant la manette de gauche. Dans l'intervalle compris entre les bobines de 1000 ohms et les bobines de 100 ohms, trois autres groupes sont intercalés : deux séries de 9 bobines de 10 ohms, deux séries de 9 bobines de 1 ohm et deux séries de 9 bobines de 0,1 ohm. Les connexions sont établies de telle sorte qu'une série de chaque groupe est intercalée entre les bobines de 1000 et de 100, tandis que l'autre série est intercalée entre + B et — B, mais extérieurement aux points de dérivation ; les deux séries de chaque groupe sont commandées simultanément par une seule manette, qui établit la communication entre les plots et les demi-cercles en laiton, de sorte que la résistance d'une des

séries augmente quand l'autre diminue, le nombre des bobines utiles de chaque groupe étant toujours égal à 9. Par cette disposition la somme des résistances entre les bornes B reste toujours constante, tandis qu'elle varie entre les points de dérivation. Quand à l'aide de résistances de réglage extérieures on a établi entre ± B une différence de potentiel de 1,5 volt, on peut mesurer toutes les forces électromotrices comprises entre cette valeur et 0,00001 volt. La boîte de résistance à fiches, qui est au-dessus des cadrans, sert à la mesure des voltages supérieurs à 1,5 volt. La manette de droite sert de clef de galvanomètre. elle glisse sur trois plots : 1° le circuit de dérivation est coupé ; 2° le circuit est fermé au travers d'une résistance de protection de 100,000 ohms ; 3° le circuit est fermé sans résistance autre que celle de la dérivation.

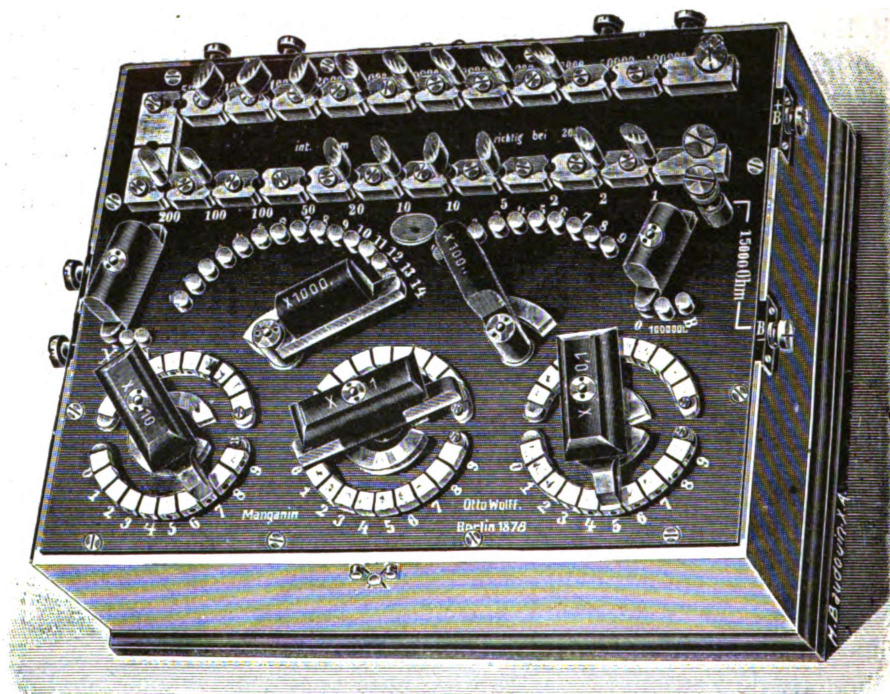


Fig. 6. — Potentiomètre Otto Wolff.

Le potentiomètre de Siemens, (fig. 7), diffère sensiblement du précédent. Il renferme une disposition analogue au pont de Thomson Varley. Une série de 10 bobines de 1000 ohms est reliée à 11 plots de laiton disposés en arc de cercle. Un double contact glissant, commandé par une manette, passe sur les plots et établit la communication entre un de ceux-ci et l'arc de laiton voisin, d'une part, et, d'autre part entre le plot suivant et l'arc placé près de l'axe de rotation de la manette. Entre les deux arcs est intercalée une série de 9 bobines de 1000 ohms, reliés à 10 plots disposés sur l'autre moitié de la circonférence des premiers plots. Dans ces conditions, il y a toujours une des bobines de la première série qui porte en dérivation 9 bobines semblables, de sorte que la résistance entre les deux contacts de la manette est de 900 ohms ; la série entière vaut donc 9 900 ohms. Une seconde manette glissant sur les plots de la série de 9 bobines permet de subdiviser cette série en 9 parties, ce qui revient au même que si la première série avait entre chaque plot 9 divisions intermédiaires. Cette disposition permet donc d'obtenir avec 19 bobines et 2 manettes, 99 combinaisons de 2 valeurs dont la somme reste constante et égale à 9 900 ohms. Pour pousser la

subdivision encore plus loin, un second système semblable, — à droite de la figure 7, — composé de 10 et de 9 bobines de 10 ohms, donne la possibilité d'obtenir avec le premier 9999 combinaisons. Enfin, entre les deux groupes, on a intercalé une série de bobines

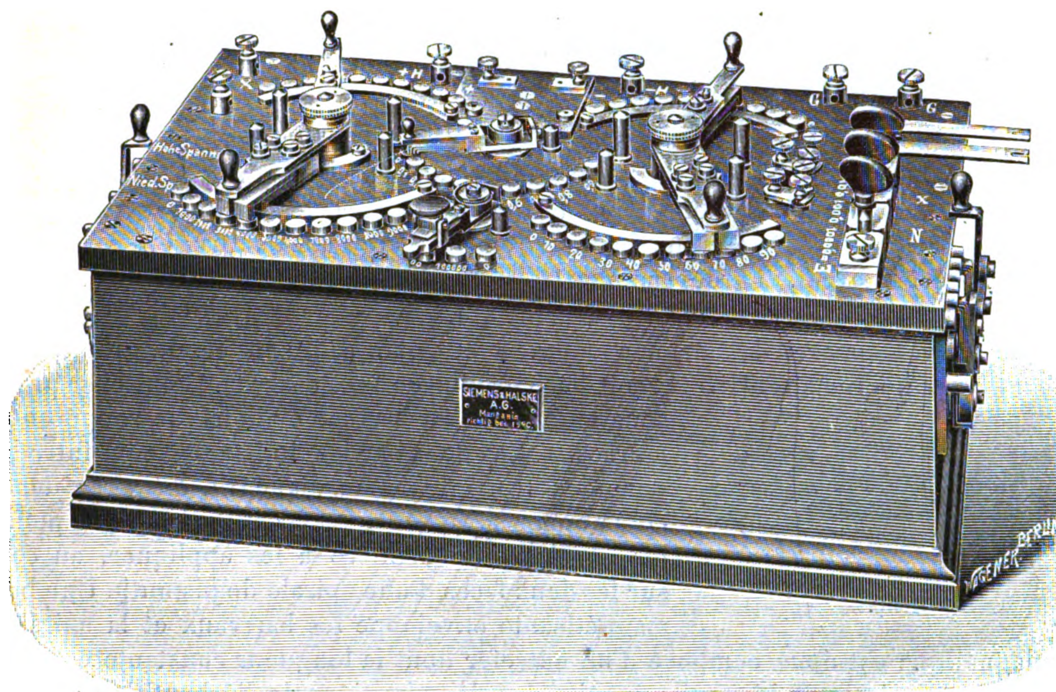


Fig. 7. — Potentiomètre Siemens et Halske.

de 0,1 ohm ce qui porte la somme totale des résistances comprises entre + H et — H, à 10000 ohms. Les deux manettes à contact simple sont les points de départ de la dérivation.

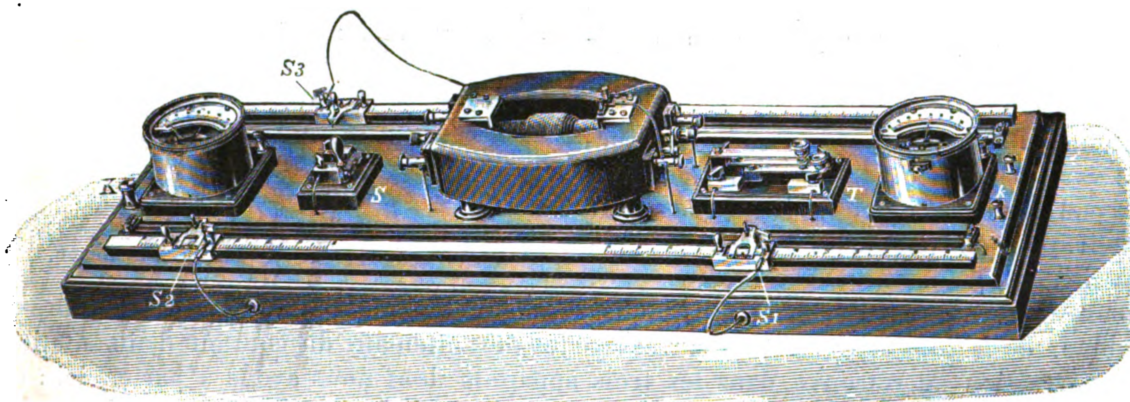


Fig. 8. — Essai du fer : appareil de Hartmann.
(1/9 grandeur nature).

Si la différence de potentiel entre + H et — H est de 1 volt exactement, il est possible de mesurer à 10^{-5} volt près.

Ce potentiomètre renferme un étalon au sulfate de cadmium dont la force électromotrice

***

est 1,019 volts. Cet étalon est placé en dérivation sur une des trois résistances que l'on voit à droite : 10190, 1019 et 101,9 ohms ; on peut donc régler le courant à 0,0001, 0,001 ou 0,01 ampère. La résistance choisie pour l'étalonnage reste toujours en série avec le potentiomètre et la double manette du côté droit permet de placer le galvanomètre soit en N, dans le circuit qui renferme l'étalon, soit en X, sur la force électromotrice inconnue. En reliant les deux lames de droite à un rhéostat auxiliaire, dont la résistance totale atteint 160 000 ohms, on peut mesurer jusqu'à 1500 volts.

L'*essai des propriétés magnétiques du fer* préoccupe à juste titre les constructeurs ; à cet égard l'Exposition allemande présente 3 appareils intéressants, destinés à la mesure de la perméabilité ; ce sont : chez Siemens et Halske, la balance de Du Bois et l'appareil de Köpsel ; chez Hartmann et Braun une modification de l'appareil de Bruger. Aucun de ces instruments n'est nouveau, à proprement parler, mais ils tirent leur intérêt des besoins actuels de l'industrie.

Dans le nouvel appareil de Hartmann, (fig. 8 et 9), un cadre en fer, de grande section et de forme presque rectangulaire, reçoit l'échantillon de fer à essayer. Celui-ci se présente sous la forme d'un barreau cylindrique coupé en deux morceaux. Les deux parties du barreau sont introduites dans des trous de même diamètre, ménagés dans les côtés opposés du cadre en fer et des ressorts poussent les barreaux de manière à les appliquer, au centre, sur les deux faces d'une spirale de bismuth. Une bobine magnétisante enveloppe les barreaux et la spirale. Le circuit magnétique est donc composé d'un entrefer dont la longueur constante est égale à l'épaisseur de la spirale de bismuth ; ensuite des deux portions de l'échantillon comprises entre la spirale et les faces internes du bloc de fer ; enfin du bloc lui-même dont les deux côtés sont en parallèle.

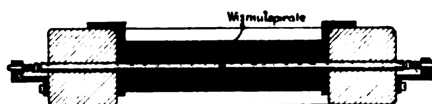


Fig. 9. — Coupe de l'appareil de Hartmann.

Quand la bobine magnétisante est excitée, le flux de force créé traverse la spirale de bismuth dont la résistance varie ; la variation *relative* de cette résistance donne la valeur de l'induction magnétique $\mathfrak{B}$ à laquelle est soumis l'échantillon de fer, une graduation empirique ayant établi le rapport qui existe entre ces deux grandeurs.

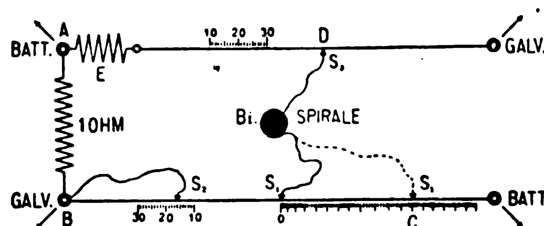


Fig. 10. — Schéma de l'appareil de Hartmann.

Comme il faut tenir compte de la reluctance variable du bloc de fer et de la reluctance constante de l'entrefer, il est nécessaire d'établir, pour chaque appareil une courbe de correction indiquant pour chaque valeur de $\mathfrak{B}$, le nombre à retrancher du champ magnétisant calculé en fonction du nombre de tours de la bobine, de la longueur du barreau essayé et de l'intensité du courant d'aimantation. Cette correction se retrouve dans les trois appareils dont nous avons à parler ici : Du Bois, Köpsel et Bruger, elle est généralement donnée sous la forme d'une courbe tracée empiriquement.

L'appareil complet renferme, indépendamment de la partie essentielle décrite ci-dessus, tous les organes nécessaires à une mesure complète, (fig 8 et schéma, fig 10.) Tout l'ensemble est réuni sur une grande table, il y a : un galvanomètre et une clef pour le courant magnétisant, un galvanomètre et une clef à deux contacts successifs pour le pont de

Wheatstone, enfin le pont lui-même. Ce dernier se compose d'une résistance E, (fig 10,) égale à la résistance de la spirale de bismuth, à la plus basse température ; d'une résistance de comparaison de 1 ohm et de 2 ponts à fils destinés, l'un à la correction de température, l'autre à la mesure de la variation de résistance.

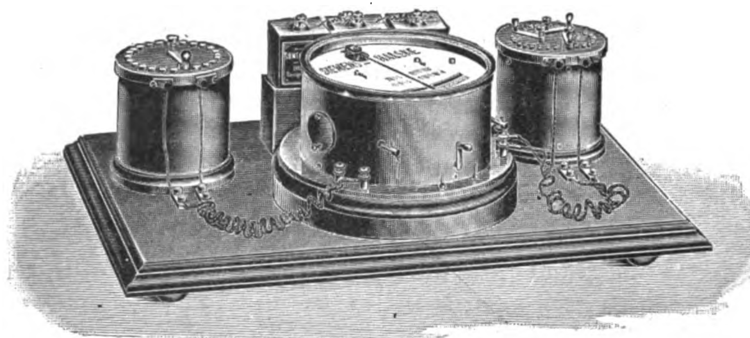


Fig. 11. — Appareil de Köpsel

La mesure se fait de la façon suivante : le curseur S_2 du fil inférieur étant placé sur le chiffre correspondant à la température ambiante, S_1 au point O de la graduation, le curseur S_3, du fil supérieur, est déplacé jusqu'à ce que le galvanomètre indique l'équilibre ; cette opération doit être faite en l'absence de l'échantillon et sans courant magnétisant. Ensuite le fer à essayer est mis en place, le courant d'aimantation est envoyé dans la bobine et mesuré au moyen du galvanomètre, puis l'équilibre du pont est rétabli en agissant sur le curseur S_1. Le déplacement O C de ce curseur donne la variation relative de la résistance de la spirale et, par suite, la valeur cherchée de $\mathfrak{B}$.

Dans l'appareil de Köpsel (fig. 11) l'échantillon, baguette cylindrique ou faisceau de tôle de section équivalente, est encore placé dans l'évidement d'un bloc de fer et entouré de la bobine magnétisante, mais, différence essentielle, cette baguette est d'une seule pièce et on mesure le flux de force, créé dans le barreau par la déviation imprimée à un cadre mobile placé dans une coupure du bloc de fer. En résumé l'appareil constitue une sorte de galvanomètre Deprez d'Arsonval dans lequel le champ magnétique est variable. Quand le cadre mobile est traversé par un courant constant, sa déviation est proportionnelle au flux de force, ou, autrement dit, à l'induction magnétique dans le fer essayé, puique la section de celui-ci est toujours la même. Un index fixé au cadre mobile, se déplace devant un cadran gradué directement en valeurs de $\mathfrak{B}$.

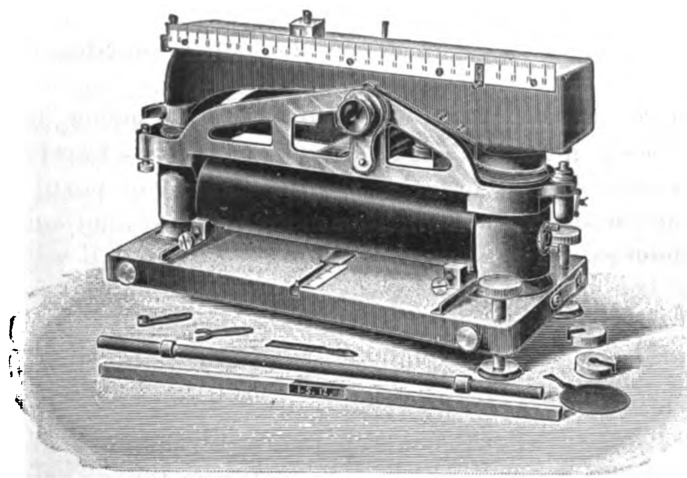


Fig. 12. — Balance magnétique de Du Bois.

Une planchette réunit l'appareil proprement dit et les accessoires comprenant : une batterie de 3 piles sèches et un rhéostat, pour fournir et régler le courant dans le cadre mobile, ainsi qu'un second rhéostat pour régler le courant magnétisant. Il faut, pour compléter l'ensemble, ajouter, extérieurement, une batterie de 4 volts et un milliampèremètre, pour fournir et mesurer le courant magnétisant.

La manipulation se réduit à placer l'échantillon, préalablement coupé à la dimension exacte, dans le bloc de fer; à régler le courant du cadre mobile; à faire passer et à mesu-

rer le courant magnétisant; enfin, à lire, sur le cadran divisé, la valeur de l'induction 𝔅.

Dans la balance magnétique de Du Bois (fig. 12) on utilise les attractions magnétiques pour la mesure de l'induction. La bobine magnétisante, est placée horizontalement et terminée par 2 blocs d'acier, elle reçoit le fer à essayer qui est de section circulaire ou carrée égale à 0,5 cm²; au-dessus se trouve un fléau formé d'une masse d'acier fondu, de grande section, qui porte à sa partie inférieure deux projections cylindriques très courtes qui se placent en regard des faces horizontales des blocs fixes. Le fléau et les blocs ne viennent jamais au contact, il y a toujours entre eux un entrefer d'environ 1 millimètre. Le fléau est porté par un couteau excentré et un contrepoids règle l'équilibre. Quand la bobine magnétisante est excitée, les attractions, égales de chaque côté, puisque les surfaces en regard sont égales et que c'est le même flux, déterminent deux moments inégaux et le fléau s'incline du côté du plus grand bras de levier. On rétablit l'équilibre au moyen de curseurs glissants sur des règles graduées; la valeur de 𝔅, dans l'échantillon est proportionnelle à la racine carrée du déplacement du curseur.

Cet instrument, le plus simple de ceux que nous venons de voir, est un appareil de grande précision, il n'exige que la source de courant (10 volts pour $\mathcal{H} = 150$ gauss) et l'ampèremètre pour la mesure de ce courant.

Les appareils de laboratoires, *spéciaux pour les courants alternatifs*, ne sont représentés ici que par le traceur de courbes de Thomas et l'indicateur de fréquence de Stockardt, construits tous deux par la maison Stieberitz, de Dresde.

Le premier de ces appareils est un oscillographe qui rappelle beaucoup l'un des modèles réalisés par M. Blondel. Une bobine circulaire, très plate, est fixée à la partie supérieure d'un aimant en U et parallèlement aux branches de cet aimant. Au centre de la bobine et entre les pôles de l'aimant, se trouve un très petit équipage mobile, formé d'une mince et étroite lame d'acier, munie d'un très petit miroir. Comme la durée d'oscillation est très courte, 1/10000 de seconde, l'équipage suit exactement la forme du courant alternatif. Sur l'axe d'un petit moteur synchrone on place un tambour recouvert de papier sensible sur lequel vient se projeter l'image donnée par le miroir.

L'indicateur de fréquence de Stockardt est un simple diapason dont les deux branches, larges et minces, sont attirées par un électro à fil fin excité par le courant alternatif à essayer. Deux grosses masses glissent simultanément sur les branches du diapason; leur position peut être réglée au moyen d'un léger cordon attaché à un bouton moleté. Quand, par suite du déplacement de ces masses, le diapason est à l'unisson avec le courant essayé, il vibre avec une grande amplitude et il suffit de lire sur une règle, divisée empiriquement, la fréquence correspondante. Cet appareil est réglé pour 100 volts, il se place sur le circuit comme un voltmètre; il est gradué pour des fréquences comprises entre 40 et 50 périodes par seconde.

Le *frein électrique* de Feussner, pour l'essai des petits électromoteurs, se compose d'un disque en cuivre que l'on rend solidaire de l'axe du moteur essayé; ce disque tourne entre les pôles d'un électro-aimant monté sur des couteaux, comme un fléau de balance. Les courants de Foucault, développés dans le disque réagissent sur l'électro qui les engendre et déterminent un couple qui tend à faire tourner l'électro lui-même. Un poids de valeur connue s'oppose à ce mouvement et il suffit de régler l'excitation de l'électro pour amener le système à l'équilibre; cette disposition donne une grande facilité de réglage. Une circulation d'eau permet de refroidir le disque. Deux modèles ont été réalisés: l'un pour les puissances inférieures à 0,2 cheval, l'autre jusqu'à 10 chevaux.

La *thermo-électricité* est très bien représentée dans la section allemande. La pile du professeur Rubens est destinée aux études de chaleur rayonnante; elle se compose d'une série de 20 couples fer-constantan, disposée dans une monture cylindrique en laiton, les soudures piares étant réunies sur une seule ligne verticale. La boîte cylindrique estpercée, suivant une génératrice, d'une fente étroite qui laisse arriver les radiations sur une seule série de soudures. L'ensemble forme une pile linéaire susceptible d'être employée là où on se sert la pile linéaire de Melloni. Ainsi groupés, ces éléments donnent 1000 microvolts pour de 1° centigrade de différence de température entre les soudures.

Le constantan est un alliage de cuivre et de nickel, en parties égales, qui avait été proposé pour remplacer le maillechort dans la construction des bobines de résistance. La cause qui a fait rejeter cet alliage est la même qui l'a fait choisir dans l'application actuelle La son pouvoir thermoélectrique élevé : 40 microvolts par degré, avec le cuivre.

Les mêmes métaux sont employés par Keyser et Schmidt, de Berlin, pour la construction d'un pyromètre allant jusqu'à 600° Cet appareil, représenté par la figure 13, se compose d'un galvanomètre à cadre mobile, d'une résistance d'environ 50 ohms, monté sur des pivots et placé dans une boîte cylindrique qui offre extérieurement l'aspect d'un voltmètre ordinaire. Un index, porté par le cadre mobile, se déplace devant une division qui indique directemen la température à laquelle est soumise la canne pyrométrique. Dans la canne sont renfermés deux couples fer-constantan, en série, ces couples donnent une force électromotrice suffisamment élevée et, comme on peut le voir sur la figure, l'échelle est presque proportionnelle. Il est intéressant de remarquer que le constantan est un des rares alliages qui ne présente pas de point d'inversion avec le fer.

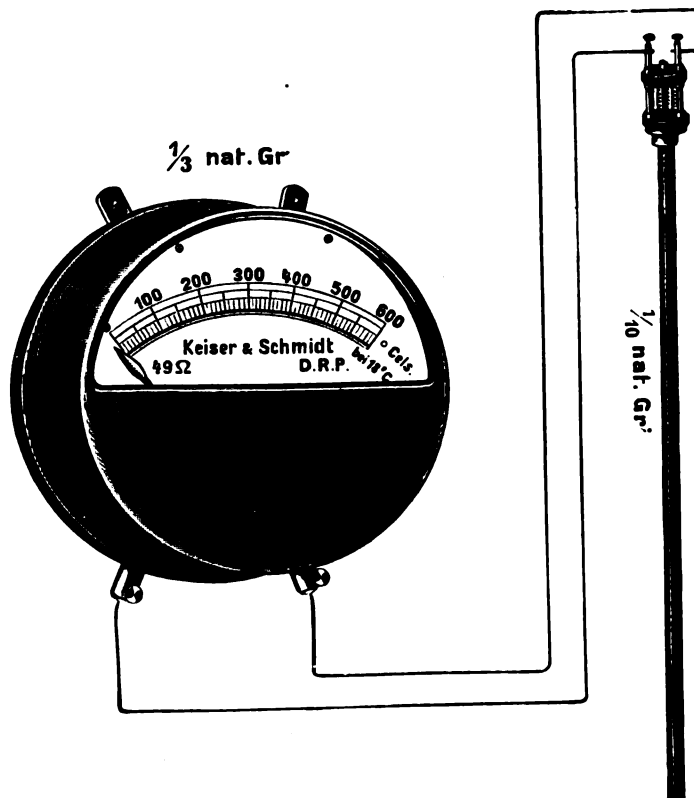


Fig. 13. — Pyromètre Keyser et Schmidt.

Pour les températures jusqu'à 1600°, il faut avoir recours au platine et à ses alliages: c'est le couple Le Châtelier : platine pur et platine allié à 10 p. 100 de rhodium qui est employé. Le galvanomètre construit pour ce cas par Keyser et Schmidt est encore à cadre mobile, mais l'axe de rotation est vertical, (fig 14). Un pivot supporte le cadre et de légers ressorts lui amènent le courant. L'appareil porte une double graduation : une échelle en degrés thermométriques, tracée d'après le couple employé et une seconde échelle invariable en millivolts qui permet de contrôler la constance du galvanomètre et aussi de l'employer avec un couple quelconque dont la force électromotrice est connue. Les divisions vont de 0 à 1 600° et de 0 à 18 millivolts environ.

Les couples Le Chatelier sont étalonnés, en Allemagne, par le Reichsanstalt et accompagnés d'un certificat donnant en volt la force électromotrice de l'élément, quand une des soudures est à 0° et l'autre à la température indiquée. Cet étalonnement se fait dans un four électrique, par comparaison avec un autre couple qui a été parfaitement étudié en fonc-

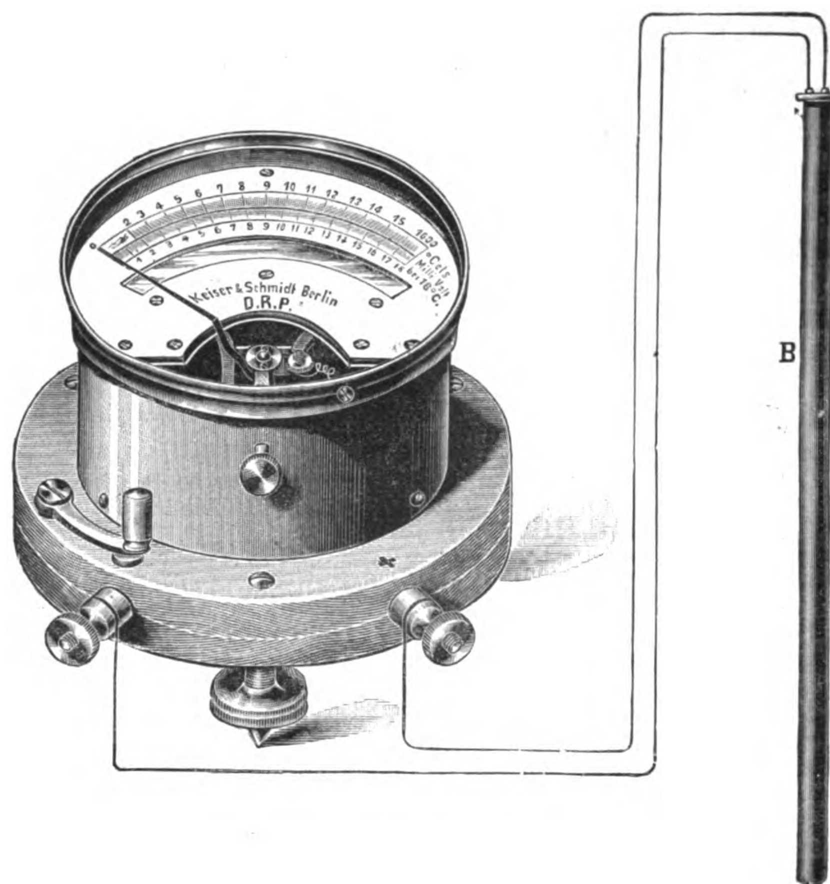


Fig. 14. — Pyromètre Le Chatelier, Keyser et Schmidt.

tion du thermomètre à gaz et d'après l'échelle adoptée par Holborn et Wien. Pour ces étalonnements l'Institut Impérial, qui en a déjà fait plus de 1 000, est parfaitement outillé; on peut voir à la classe 15 le four électrique, un échantillon de couple avec son certificat et le potentiomètre qui sert à déterminer la force électromotrice.

H. ARMAGNAT.

CONGRÈS INTERNATIONAL D'ÉLECTRICITÉ

Le Congrès international d'électricité vient de terminer ses travaux. Les décisions qui y ont été prises sont, comme nous le verrons, assez peu nombreuses et n'ont pas l'importance de celles prises par les congrès officiels antérieurs de Paris (1881 et 1889) et de Chicago (1893); il ne pouvait d'ailleurs en être autrement. Néanmoins le Congrès de 1900

laissera, comme ses devanciers, une trace importante dans l'histoire des progrès de l'électricité par le nombre et l'importance des travaux, pour la plupart inédits, qui y ont été présentés ainsi que par l'intérêt des discussions auxquelles ces communications ont donné naissance.

Les congressistes étaient d'ailleurs fort nombreux : plus de 1100 étaient inscrits à la date du 11 août et beaucoup de retardataires se sont faits inscrire pendant la durée du Congrès. Aussi les salles de l'hôtel de la Société d'Encouragement étaient-elles trop exiguës pour contenir tous ceux qui suivaient assidûment les séances.

Beaucoup de gouvernements étrangers avaient envoyé des délégués officiels (1). La plupart des Sociétés savantes et techniques s'étaient également fait réprésenter (2).

La *séance d'ouverture* a eu lieu le samedi 18 août, à dix heures du matin, au Palais des Congrès, à l'Exposition ; elle était présidée par M. Mougeot, sous-secrétaire d'Etat des Postes et Télégraphes qui a ouvert la séance par une courte allocution. Après avoir souhaité la

(1) Voici les noms des nations représentées avec l'indication des noms de leur délégués :
France. *Ministère du Commerce :* D'Arsonval, Bordelongue, Darcq, Mascart, Postel-Vinay, Thévenin, Violle.
Ministère de la Guerre : Barrier, Boulanger, Braire, Liouville, Meillet, Pistor.
Ministère de la Marine : Aubusson de Cavarlay, Le Mercier-Mousseaux, Maugas, Pollard, Thomine, Tissot.
Ministère de l'Agriculture : Mazerolle.
Allemagne : Gaisberg, Westphalen.
Autriche : Barth de Wehrenalp, Liminger, Trnowsky, Jullig, Rolher, Weisskopf.
Belgique : Banneux, Gérard (E. A. J.), L'Hoest, Briffaux, Gellens, Wybauw.
Bulgarie : Etienne (Paul).
Corée : Ferret.
Danemark : Ernst, Meyer.
Equateur : Ornellas (baron Carlo d').
Espagne : Addison (F.-J.), Brokman y Abarzuza, Mayoral.
Etats-Unis : Hering (Carl), Kennelly, Martin, Millis, Short.
Grande-Bretagne : Carr (Major), Gavey.
Guatémala : Guérin (René).
Hongrie : Hollos, Koloszvary, Söpkesz, Szalay (de), Straub, Weyde.
Indes Britanniques : Bôse, Pitmann, Tlinch.
Italie : Cardarelli, Columbo.
Japon : Igarashi, Oyuwa, Tomita.
Libéria : Guillerme (Léon).
Luxembourg : Neuman (Félix).
Mexique : Calderon, Chavez, Quevedo (Miguel A. de), Stampa (M.).
Pays-Bas : Collette (A. E. R.).
Russie : Chatelin, des Carrières, Dolivo-Dobrowolsky, Krakau, Ossadtchy, Woynarowsky, Miller, de Schwan.
Suisse . Vanoni, Weber.

(2) France. Association de l'école de Physique et de Chimie, Association des ingénieurs électriciens, Association des industriels du Nord de la France, Chambre de Commerce de Paris (2 délégués, Compagnie des chemins de fer de l'Ouest (6 délégués), Société amicale de l'École supérieure d'électricité, Société de Physique (3 délégués), Société internationale des électriciens, Syndicat des industries électriques, Syndicat des usines d'électricité.
Allemagne : Elektrotechnisches Institut, Verband deutscher Elektrotechniker.
Autriche : Elektrotechnischer Verein.
Belgique : Association de l'Institut électrotechnique Montefiore.
Canada : Canadian electrical Association.
Etats-Unis : American Institute of Electrical Enginers (6 délégués), the Franklin Institute, New-York Electrical Society (2 délégués).
Grande-Bretagne. The Institution of Electrical Enginers (24 délégués).
Hollande : Koninglijk Instituut van Ingenieurs.
Hongrie : Société des ingénieurs et architectes hongrois.
Italie : Associaziome Elettrotecnica Italiana, Societa d'incoraggiamento d'Arti e Mestieri.
Portugal : Associaçào dos engenheiros civis portuguezes.
Suisse : Schweizerische Electrotechnischer Verein.

bienvenue aux congressistes étrangers, M. Mougeot a adressé ses félicitations publiques à M. Mascart pour sa récente nomination à la dignité de grand officier de la Légion d'honneur, puis il a donné la parole à M. Mascart, président de la Commission d'organisation du Congrès [1]. Nous reproduisons ci-dessous le discours prononcé par M. Mascart [2].

---

[1] Cette Commission d'organisation était ainsi composée :

Président : M. Mascart, membre de l'Institut, directeur du Bureau central météorologique.

Vice-Présidents : MM. Moissan (Henri), membre de l'Institut et de l'Académie de Médecine ; Fontaine (Hippolyte), ingénieur-électricien, administrateur de la Société des machines magnéto-électriques Gramme ; Gariel (Charles), professeur à la Faculté de médecine, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

Secrétaires : MM. Janet (Paul), directeur de l'Ecole supérieure d'électricité et du Laboratoire central d'électricité ; Sartiaux (Eugène), ingénieur en chef des services électriques au chemin de fer du Nord.

Trésorier : M. Violet (L.), ingénieur directeur de la maison Carpentier.

Membres : MM. d'Arsonval (Arsène), membre de l'Institut ; Berger (Georges), député, président honoraire de la Société internationale des électriciens ; Blondel (André), professeur à l'École nationale des ponts et chaussées ; Bouilhet (André), ingénieur-manufacturier ; Carpentier (Jules), ingénieur-constructeur ; Darcq, inspecteur général des services électriques au Ministère des postes et télégraphes ; Gosselin, secrétaire général de la Société internationale des électriciens ; Hillairet (André), ingénieur-constructeur, vice-président de la Société internationale des électriciens ; Hospitalier (Édouard), professeur à l'École municipale de physique et de chimie, ingénieur des arts et manufactures ; Joubert (Jules), inspecteur général de l'Instruction publique ; Lippmann (Jules), membre de l'Institut ; Mazen, inspecteur principal du matériel et de la traction au Chemin de fer de l'Ouest ; Meyer (Ferdinand), directeur de la Compagnie continentale Édison, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées ; Monnier (Dimitri), ingénieur des arts et manufactures, professeur à l'École centrale des arts et manufactures ; Guillebot de Nerville, ingénieur des télégraphes, professeur à l'École professionnelle supérieure des télégraphes ; Pellat (Henri), professeur à la Faculté des sciences de Paris ; Picou (Victor), ingénieur-électricien, ingénieur principal des installations électriques de l'Exposition de 1900 ; Postel-Vinay (André), ingénieur-constructeur ; Potier (Alfred), membre de l'Institut ; Sciama (Gaston), directeur de la maison Bréguet ; le général Sebert (Hippolyte), membre de l'Institut ; de la Touanne, ingénieur des télégraphes ; Violle (Jules), membre de l'Institut ; Vivarez, ingénieur civil des mines ; Wunschendorff (Eugène), administrateur des postes et télégraphes.

[2] Discours de M. Mascart : Le Comité d'organisation du Congrès d'électricité a d'abord une mission particulièrement agréable à remplir, celle d'exprimer sa profonde reconnaissance à nos collègues étrangers pour l'empressement avec lequel ils sont venus en aussi grand nombre pour répondre à son invitation. Nous espérons que ce Congrès, en rapprochant les savants et les ingénieurs de différents pays qni ont dirigé leurs efforts en vue des progrès de l'électricité, contribuera à resserrer les liens d'amitié formés dans des réunions antérieures et à créer entre eux de nouvelles relations.

Les applications de l'électricité s'étendent aujourd'hui à presque toutes les branches de l'activité humaine.

Au début du siècle, le premier consul, après avoir assisté aux expériences de Volta devant la première classe de l'Institut, émit l'opinion que cette partie de la physique paraissait le chemin des grandes découvertes. Aucune prédiction n'a été plus complètement réalisée. Les découvertes qui se sont succédé depuis cette époque présentent un caractère unique dans l'histoire de l'esprit humain.

La première tâche était de mettre en évidence les principes et les lois des courants électriques ; elle fut accomplie en trente années par les travaux d'Œrstedt, Ampère et Faraday.

En même temps, Davy montrait par des expériences mémorables les ressources que devait y trouver la chimie, Jacobi constituait l'industrie importante de la galvanoplastie et la découverte d'Arago sur l'aimantation du fer par les courants donnait naissance à la télégraphie électrique.

L'utilisation de cet agent nouveau pour les moteurs et la production des courants par des moyens mécaniques eurent des progrès beaucoup plus lents. Si le problème était résolu en principe, les solutions pratiques offraient les plus grandes difficultés.

Pour quelques applications particulières, la marche alternative que le mouvement des organes mécaniques imprime naturellement aux courants induits ne présentait pas d'inconvénients sérieux, mais on cherchait surtout à redresser ces courants afin de leur conserver le même sens à l'extérieur des machines, par analogie avec ceux que fournissait la pile de Volta et le second tiers du siècle n'a pas suffi pour en trouver une solution entièrement satisfaisante.

C'est alors que la petite machine trop ignorée de M. Paccinotti et l'invention de la dynamo industrielle par M. Gramme ont ouvert une voie toute nouvelle.

Le spectacle que nous avons aujourd'hui sous les yeux tient du prodige. Au lieu des petits appareils de laboratoire et du matériel encombrant des piles électriques, nous voyons des machines de toutes dimensions, capables de se plier aux opérations les plus délicates et d'absorber le travail des plus puissants moteurs mécaniques avec une souplesse qui défie toute comparaison.

L'industrie entière en est transformée.

A la suite de ce discours la séance a été levée pendant quelques minutes pour permettre aux membres du Congrès de conférer sur la constitution du Bureau.

Les forces en réserve dans la nature trouvent partout une meilleure utilisation. Le cours des fleuves, les torrents, les cascades, toutes les formes de ce qu'on a appelé la houille blanche, sont mises à profit par l'électricité pour les besoins de l'homme, soit sur place, soit à de grandes distances et des ressources immenses autrefois perdues restent encore disponibles.

Si les amateurs de paysages solitaires peuvent regretter parfois que l'industrie envahisse les vallées gracieuses ou sauvages et prenne possession des sites pittoresques, ces plaintes ne se justifient pas en regard des bienfaits dont profite le genre humain.

L'électricité opère également une véritable révolstion dans l'industrie des transports. Elle multiplie les relations entre les habitants des villes et les communications entre les différentes localités. Dans un pays voisin, si aimé des touristes, elle conduit sur les cimes les plus élevées les visiteurs désireux de jouir sans fatigue des grands aspects de la nature.

A l'Exposition de 1881, William Siemens nous montrait, pour la première fois, une expérience curieuse sur l'affinage du fer dans un creuset entre les charbons d'un arc électrique. L'opération n'était faite que sur un kilogramme de matière et l'on ne pouvait guère prévoir que ce four électrique aurait tant d'avenir.

Les puissants moyens qu'offrait l'électricité industrielle ont été mis à profit par les chimistes pour la production économique de l'aluminium et des métaux rares, pour l'affinage dù cuivre, la formation directe de diverses substances et la formation d'une série de corps nouveaux, au point que l'un des maîtres de la science a pu dire : « la chimie minérale, qui paraissait terminée, n'en est qu'à son aurore. Dans ce domaine encore, la science a rendu à l'industrie avec usure les services qu'elle en avait reçus. »

L'éclairage électrique n'a plus à faire valoir ses qualités spéciales pour conquérir la faveur publique ; il se développe tous les jours davantage et l'Exposition nous montre avec quelle magie cette lumière se prête aux plus merveilleux effets de décoration. L'électricité peut même revendiquer à son compte une de ses rivales d'origine plus récente, la lumière de l'acétylène, dont la place n'est pas encore bien délimitée dans l'économie générale.

Pour les moyens d'échange de la pensée humaine, le télégraphe et le téléphone, chaque jour, apportent un nouveau progrès.

L'accroissement des transactions a fait imaginer les méthodes les plus ingénieuses pour multiplier le service des lignes et utiliser un même fil à la transmission simultanée de plusieurs dépêches, de même sens ou de sens contraire, laissant aux appareils récepteurs le soin de dégager, chacun en ce qui le concerne, celui des signaux qui leur est destiné.

On va même jusqu'à supprimer les conducteurs métalliques en confiant à l'air le soin de transmettre les ondulations électriques. Verrons-nous le moment où l'atmosphère, chargée ainsi d'une électricité toute différente de celle des orages, sera parcourue en tous sens par des vagues artificielles, messagers invisibles, sans se troubler mutuellement, comme font les rayons de lumière qui se propagent dans l'éther ?

Mais le télégraphe ne suffit plus à l'activité un peu fébrile de notre temps.

Le téléphone lui-même cause beaucoup d'impatience et devient impuissant pour les très longues distances. Qu'à cela ne tienne, on inscrit maintenant la parole sur des fils d'acier qui la répètent à leur tour : nous aurons bientôt des relais téléphoniques permettant, d'un bout à l'autre des continents, du transmettre les messagers de commerce et d'entendre les voix qui nous sont chères. Que reste-t-il à désirer, sinon de voir à distance ? Si complaisante que soit l'électricité, il y aurait sans doute indiscrétion à lui demander ce miracle.

Je n'ai pu qu'indiquer en grandes lignes les principales applications de l'électricité. Il resterait à parler encore des résultats obtenus en physiologie et en médecine, où l'emploi des courants de haute fréquence n'a pas dit son dernier mot, ainsi que des propriétés encore mystérieuses que présentent les rayonnements émis par les ampoules de Crookes et par certains composés chimiques. Dans ce champ d'investigations il reste beaucoup à faire et nos vues actuelles sur la constitution des corps en seront sans doute singulièrement modifiées.

Tel est le domaine immense dans lequel vous aurez nécessairement à faire un choix pour vos délibérations.

Au moment où le siècle arrive à sa fin, il est permis de jeter un regard en arrière sur la route parcourue.

Les esprits les plus éminents ont appliqué leur génie à l'étude des phénomènes électriques, une armée d'ingénieurs est venue ensuite leur donner une traduction pratique.

L'électricité a pénétré dans toute l'industrie, supprimé les distances, franchi les océans et rapproché les peuples ; elle jouera un rôle essentiel dans la réalisation du rêve général de paix et de fraternité qui fermente chez tous les peuples civilisés. Un siècle entier pour l'accomplissement de cette œuvre, c'est beaucoup pour les contemporains, c'est bien peu dans l'histoire de l'humanité.

Lorsque nos arrière-neveux auront à juger le XIXe siècle, ils éprouveront sans doute un sentiment de surprise et d'admiration à constater que tant de choses ont été accomplies en un siècle.

Permettez-moi de terminer par un souvenir personnel. En 1881, non loin d'ici, avait lieu le premier Congrès d'électricité, qui réunissait les savants les plus illustres du monde entier. Je ne puis me rappeler sans émotion que beaucoup d'entre eux ont disparu et je voudrais rendre un pieux hommage à leur mémoire.

On y voyait entre autres : pour l'Allemagne, von Helmholtz, Clausius, Kirchhoff, Du Bois Reymond, Wiedemann ;

****

A la reprise de la séance la liste présentée est adoptée à l'unanimité. On passe ensuite à la nomination des présidents des cinq sections du Congrès (1).

Le président donne alors lecture d'une lettre de lord Kelvin dans laquelle celui-ci s'excuse de ne pouvoir assister au Congrès ; il est décidé qu'un télégramme de sympathie lui sera adressé au nom de l'Assemblée.

Le président fait connaître que, en dehors des cinq sections indiquées au programme, il a été constitué une commission des délégués officiels des Gouvernements, qui aura la mission d'examiner les propositions d'intérêt international qui lui seraient transmises par les sections ; cette même procédure a déjà été appliquée au Congrès de Chicago en 1893 ; la réunion de cette commission est fixée à l'après-midi du vendredi 24 août. Il donne ensuite diverses indications sur l'emploi du temps pendant la durée du Congrès.

M. Ayrton, délégué de la Grande-Bretagne, puis M. Dorn, délégué de l'Empire allemand, expriment leurs remerciements au gouvernement français et à la Commission d'organisation du Congrès. Après une courte réponse du président, la séance est levée à onze heures.

VISITES, RÉCEPTIONS, ETC. — Comme visites, réceptions et promenades, le programme du Congrès était fort chargé et pour les visites industrielles, en particulier, les congressistes ont dû faire un choix, vu l'impossibilité de les suivre toutes.

Dans l'après-midi du lundi, pendant qu'un groupe visitait l'usine de transport d'énergie, système Hutin et Leblanc, de La Chapelle, un autre groupe se rendait à la nouvelle usine de la Compagnie continentale Edison à Saint-Denis, où est appliqué le système Thury.

Les lecteurs de ce journal connaissent le matériel de la première par les descriptions

---

pour la Grande-Bretagne : Spottiswoode, Hopkinson, Hughes, William Siemens ; Mach, pour l'Autriche ; Rossetti, Govi, Ferraris, pour l'Italie, et bien d'autres dont la liste serait trop longue.

Dans la commission célèbre des Unités, cet aréopage était présidé par J.-B. Dumas, avec une autorité et une distinction qui imposaient le respect. Il nous apparaissait comme le dernier représentant d'une génération antérieure, celle des grands fondateurs de la science dont les noms étaient pour nous entourés d'une sorte d'auréole.

C'est grâce à un esprit général de conciliation et au désir commun de faire œuvre utile que, sous l'influence de Dumas, la Commission aboutit par un vote unanime à des résolutions qui ont rendu tant de services à la science et à l'industrie.

Je voudrais ouvrir le Congrès actuel sous les auspices du Congrès de 1881, désormais historique, en exprimant la confiance qu'aujourd'hui comme alors vos délibérations seront inspirées par le même esprit de conciliation, de concorde et de sentiment du bien public.

(3) BUREAU DU CONGRÈS. — *Président :* M. E. MASCART, membre de l'Institut.

Vice-présidents français : MM. MOISSAN, FONTAINE et GARIEL.

Vice-présidents étrangers : MM. F. KOHLRAUSCH et DORN pour l'Allemagne, PERRY et Sir W. PREECE pour la Grande-Bretagne, JULLIG pour l'Autriche, Eric GÉRARD pour la Belgique, Carl HERING et KENNELLY pour les États-Unis, de FODOR pour la Hongrie, COLUMBO pour l'Italie, CHATELAIN pour la Russie, TURETTINI pour la Suisse.

Secrétaire général : M. P. JANET.

Rapporteur : M. Hospitalier.

BUREAUX DES SECTIONS. — Les vice-présidents et secrétaires ont été nommés à la première séance de chaque section.

	I	II_A	II_B	III	IV	V
Présidents :	Violle	Hillairet	Fontaine	Moissan	Wunschendorff	D'Arsonval
Vice-présidents :	Arnold, Ayrton, Chatelain, Crova,	Strœcker, S.-P. Thompson Mailloux, Turettini.	F. Meyer, de Fodor Carl Hering.	Pagliani Zenger.	Roosen, Gavey, Pinter, Strecker.	
Secrétaires :	Bourguignon, David, Odent.	Thomine, Grunberg, Grisel, Boisseau, Halphen.	Gasnier, Pernollet, Soulier.	Landrin.	Sire de Vilar, Racapé, Lacaze.	

qui en ont été données (1). La seconde, dont la mise en fonctionnement date de quelques mois seulement sera décrite prochainement ; disons seulement qu'elle contient actuellement deux groupes électrogènes produisant du courant continu à 4 200 volts qui est transmis par une canalisation à 3 fils nus, placée en caniveau, aux stations parisiennes de la Compagnie Edison où il est transformé en courant continu à 2×110 volts.

Conformément aux indications du programme l'après-midi du mardi a été consacrée à une excursion à Chantilly. Vers 1 heure près de 600 congressistes, beaucoup accompagnés de membres de leur famille, prenaient place dans deux trains spéciaux qui les conduisaient rapidement à Chantilly. Là, après la visite du château et des riches collections que le duc d'Aumale y a rassemblées, après celle du parc et des dépendances, les congressistes se dirigeaient vers le champ de courses où un copieux lunch, offert par les industriels français, avait été préparé. Vers 7 heures deux trains spéciaux les ramenaient à Paris. Parfaitement organisée par M. E. Sartiaux, favorisée par le beau temps, cette excursion a été tout à fait réussie. Elle a appris à bien des Français qu'ils possèdent aux portes de Paris des merveilles d'art et, comme le disait un des délégués étrangers à la séance de clôture, elle confirmera aux membres étrangers l'impression qu'au point de vue artistique la France est toujours à la tête des nations civilisées. Le comité d'organisation du Congrès a donc bien été inspiré en coupant les travaux techniques du Congrès par la visite du magnifique domaine dont le duc d'Aumale a confié la garde à l'Académie.

L'après-midi du mercredi a été employée à la visite de la puissante usine électrique du quai Jemmapes (2) ou à celle du Métropolitain. En raison de sa nouveauté le Métropolitain avait attiré de nombreux congressistes. Vu l'impossibilité de visiter la ligne sans désorganiser le service, il a fallu se contenter de la visite de l'usine de transformation, établie provisoirement sur la place de l'Etoile en attendant que la salle souterraine soit prête, et des diverses gares qui se superposent les unes aux autres en cet endroit de la ligne. Grâce aux explications données avec beaucoup de netteté par M. Maréchal, les congressistes ont pu néanmoins se rendre compte de cette importante installation.

Après ces visites plusieurs groupes de congressistes se rendirent soit à la Tour Eiffel où MM. Mornat et Langlois se mettaient à leur disposition pour leur en montrer les installations électriques, soit à la plate-forme roulante et aux chemins de fer de l'Exposition.

Le lendemain jeudi, après-midi, eurent lieu simultanément les visites des installations électriques du prolongement du chemin de fer d'Orléans au quai d'Orsay et de la ligne du chemin de fer électrique du Champ-de-Mars à Meudon, deux lignes qui selon toute prévision ne tarderont pas à être reliées par un tronçon allant de la nouvelle gare du quai d'Orsay aux Invalides.

Rien n'était prévu au programme pour l'après-midi du vendredi. Sans doute pour cette raison les visites et réunions, annoncées au dernier moment, furent encore plus nombreuses que les jours précédents. A l'hôtel de la Société d'encouragement, M. Dobkévitch montrait en fonctionnement les oscillographes Blondel présentés à l'une des séances de la section I ; au Laboratoire central, M. Perskyi faisait aux membres de cette section une communication sur la télévision au moyen de l'électricité, pendant que Mme Ayrton répétait devant les membres de la section II_B quelques-unes de ses expériences sur l'arc électrique.

---

(1) C.-F. Guilbert. Le nouveau matériel générateur de la Société d'Eclairage et de Force, *L'Éclairage Électrique*, t. X, p. 55 et 288, 9 janvier et 6 février 1897.

Voir aussi la série d'articles publiés par M. Maurice Leblanc dans *L'Éclairage Électrique* de décembre 1898 à juillet 1899.

(2) Voir la description de cette usine dans *L'Éclairage Électrique*, t. XV, p. 270; 14 mai 1898.

La section II_A tenait séance pour achever la lecture des communications inscrites à l'ordre du jour. Les membres de la section II_C se séparèrent en plusieurs groupes ; pendant que les uns se rendaient à l'Annexe de Vincennes, d'autres allaient examiner à la Porte Maillot les systèmes de traction à contacts superficiels de M. Vedovelli et de M. Dolter, d'autres encore se rendaient à Corbeil pour faire, sur la voiture à accumulateurs de la Compagnie des chemins italiens de la Méditerranée, le trajet de Corbeil à Melun. Les électrochimistes (section III) s'étaient donné rendez-vous à l'annexe d'électrochimie du Champ-de-Mars. Enfin les membres de la section IV visitaient les bureaux téléphoniques de Paris.

Le lendemain samedi, après la clôture officielle du Congrès, les visites continuèrent, plusieurs exposants, parmi lesquels M. Carpentier, MM. Parvillée frères, M. Braun, la Société Le Carbone, etc., ayant invité les membres du Congrès à venir examiner au Champ-de-Mars les appareils exposés par eux.

On voit par cette rapide nomenclature des visites techniques que le temps des congressistes s'est trouvé fort utilement employé. L'agréable s'est d'ailleurs souvent mêlé à l'utile, comme il convient en ces circonstances. Sans revenir sur l'excursion de Chantilly et sans parler des réceptions particulières offertes par les membres du Comité d'organisation à leurs collègues étrangers, nous avons à signaler dans cet ordre d'idées : la soirée donnée le lundi 20 août par le prince Roland Bonaparte, la réception offerte le même jour de 5 à 7 heures au Pavillon des Etats-Unis par les membres de l'*American Institute of Electrical Engineers*, celle offerte le jeudi au pavillon de la Grande-Bretagne par les membres de l'*Institution of Electrical Engineers*, la soirée donnée le jeudi soir à la salle des Illusions, la réception offerte au Pavillon impérial de l'Allemagne par les délégués officiels allemands, etc.

Séances de sections. — Les travaux du Congrès avaient été divisés en cinq sections ; les séances de ces sections ont eu lieu chaque matin dans les salles de la Société d'Encouragement, sauf toutefois pour la section IV (télégraphie) dont les séances ont eu lieu à l'hôtel de la Société d'Horticulture, rue de Grenelle.

Dès sa première séance la section I (méthodes scientifiques et appareils de mesures) a nommé une commission chargée spécialement de s'occuper des discussions relatives aux unités.

La section II a dû, en raison du nombre des communications qui étaient annoncées, se scinder en trois sections, la section II_A s'occupait de la production de l'énergie électrique, la section II_B, de l'éclairage et la section II_C, de la traction.

La section III (électrochimie) dont le programme était peu chargé n'a tenu que deux séances. La section V (électrophysiologie) n'en a tenu qu'une pour la même raison.

Le compte rendu des travaux présentés à ces séances nous entrainerait beaucoup trop loin pour pouvoir le donner dans ce numéro. Nous préférons le remettre à huitaine ce qui nous permettra de mieux rassembler les notes encore éparses, que nous avons recueillies ou qui nous ont été communiquées. Nous nous bornerons à donner ci-dessous [1] les titres des communications qui ont été faites.

---

[1] Liste des communications faites au Congrès international d'électricité :

Section I. — *Méthodes scientifiques et appareils de mesure.*

Lundi 20 août. — Sur la photométrie, par A. Cornu et par Crova.
Mardi 21 août. — Appareils propres au redressement des courants alternatifs, par Hildburgh.
Sur la pile étalon au cadmium, par R. Arnoux.

Leur nombre et la notoriété de leurs auteurs montrent suffisamment que le Congrès international d'électricité de 1900 n'a rien à envier à ses aînés au point de vue des résultats

---

Sur l'explication mécanique des phénomènes électriques d'après les idées de Maxwell et la théorie des tourbillons, par Weyde.

Mercredi 22 *août.* — Nouveaux types d'oscillographes, par A. Blondel.

Sur la mesure précise des courants alternatifs, par Addenbrooke.

Jeudi 23 *août.* — Sur la photométrie, par Violle.

Appareil pour la mesure de la fréquence des courants alternatifs, par Kemf-Hartmann.

Etude oscillographique d'alternateurs diphasés et triphasés, par Blondel, Dobkevitch, Duris, Farmer et Tchernosvitoff.

Vendredi 24 *août.* — Rapport de la commission des unités, par Hospitalier.

Galvanomètre thermique Chauvin et Arnoux, par Arnoux.

Voltmètre-ampèremètre enregistreur Richard pour l'étude de trois lampes à arc en série, par P. Janet.

Télévision au moyen de l'électricité, par C. Perskyi.

Section II_A. — *Production et utilisation mécanique de l'électricité.*

Lundi 20 *août.* — Système Bède pour traction électrique, par Bède.

Sur la prédétermination de la chute de tension dans les alternateurs polyphasés au moyen de la théorie des deux réactions, par Rey.

Sur le compoundage des alternateurs polyphasés, par A. Blondel,

Application de dynamos survoltrices au réglage automatique de la force électromotrice des batteries d'accumulateurs, par Thury.

Mardi 21 *août.* — Sur les mécanismes électromagnétiques, par S.-P. Thompson.

Electro-aimants, par Guénée.

Sur la construction des machines dynamo-électriques, par Maurice Leblanc.

Sur la résistance des voitures automotrices à la traction, par Ernest Gérard.

Le système de traction à contacts superficiels Dolter, par J. Blondin.

Remarques sur le système Pollak et Biswanger, par J. Blondin.

Mercredi 22 *août.* — Essais et mesures faits sur l'installation Paderno-Milan, par Semenza.

Sur le compoundage des alternateurs, par Boucherot.

Transports d'énergie à haute tension par courant continu, par Thury.

Sur l'accouplement des alternateurs, par Pérot.

Jeudi 23 *août.* — Sur les alternateurs compounds et transformateurs statiques, par Routin.

Sur le mécanisme de l'électrolyse par les courants de retour des tramways, par Claude.

Halage électrique des bateaux par remorqueurs et automobiles, par Léon Gérard.

Vendredi 24 *août.* — Théorie et essais d'une commutatrice exécutés au Laboratoire central d'électricité, par P. Janet.

Sur l'emploi des condensateurs à haute tension, par Lombardi.

Sur l'emploi des condensateurs, par Boucherot.

Sur les condensateurs, par Leblanc.

Sur le montage en série des machines à courant alternatif simple, par Leblanc.

Théorie graphique de la régulation des convertisseurs rotatifs, par A. Blondel.

Calcul de la hauteur d'enroulement des électroaimants connaissant les ampères-tours et l'épaisseur d'enroulement, par Weyler.

Note sur le calcul des réseaux alternatifs, par Boucherot.

Section II_B. — *Éclairage électrique.*

Lundi 20 *août.* — Sur les progrès des lampes électriques, par A. Blondel.

Mardi 21 *août.* — Proposition d'un nouveau mode de tarification de courant électrique, par de Fodor.

L'électricité et la force motrice au théâtre, par Mornat.

Sur l'adjonction d'un condensateur à une lampe à arc alternatif pour augmenter la sensibilité du réglage, par Claude.

Mercredi 22 *août.* — Sur l'emploi des lampes à gros filaments et à basse tension, par Weissmann.

Sur l'emploi des lampes à arc, par Bochet.

Sur les lampes à incandescence, par Ayrton.

Jeudi 23 *août.* — Sur l'intensité lumineuse de l'arc à courant continu, par Mme Ayrton.

Note sur l'éclairage par arc, par Blondel et Jigouzo.

Le tarif différentiel Wright, par Pellissier.

Vendredi 24 *août.* — Sur les lampes à incandescence sans culot, par Lorcay.

tangibles. Étant donnée la cordialité qui n'a cessé de régner entre les congressistes, ses résultats moraux ne seront pas moins appréciables ; c'est une constatation que nous sommes heureux de dire ici.

J. BLONDIN.

Essais des charbons d'arc, par A. BLONDEL.
Sur la fourniture gratuite des installations intérieures, par STANOIEVITCH.
Nouveaux procédés pour régler la répartition de la chaleur dans le système Lagrange et Hoho, par HOHO.
Résistances métallo-céramiques Parvillée pour appareils de chauffage par J. BLONDIN.

SECTION IIc. — *Traction par contracts superficiels.*

Jeudi 23 août. — Nouveau pavé de contact, par DOLTER.
Système de traction Védovelli, par VÉDOVELLI.
Système de traction Diatto, par DIATTO.
Vendredi 24 août. — Discussion des divers systèmes de traction.

SECTION III. — *Électrochimie.*

Mardi 21 août. — Discussion sur les propositions faites par le Dr Leblanc au Congrès de Chenue, par J. BLONDIN.
Propositions nouvelles, par HOLLARD.
Sur les fours électriques, par KELLER.
Les principes de l'analyse électrolytique, par HOLLARD.
Mercredi 22 août. — Utilisation des eaux de mer à la production de l'énergie électrique, par ZENGER.

SECTION IV. — *Télégraphie et téléphonie.*

Lundi 21 août. — Système téléphonique à batterie centrale, par ANDRÉ.
Question de la dirigeabilité des appareils de la télégraphie par les ondes électriques, par Rudolf BLOCHMANN.
Mardi 22 août. — Application des récepteurs téléphoniques à la télégraphie sans fil, par POPOFF.
Note sur la télégraphie sans fil, par VILLOT.
Sur la télégraphie sans fil, par TISSOT.
Sur la télégraphie sans fil, par GAVEY.
Application des microphones sous-marins à la sécurité des pêcheurs de Terre-Neuve, par CHAGE-PACHA.
Sur les canalisations téléphoniques souterraines, par ROOSEN.
Mercredi 23 août. — Sur l'état actuel et les progrès de la télégraphie sans fil, par BLONDEL et FERRIÉ.
Sur le télégraphe rapide écrivant système Pollak et Virag, par PINTER.
Sur les transformateurs unipolaires, par O. ROCHEFORT.
Jeudi 24 août. — Transmetteur télégraphique Squier et Crehore, employant des ondes sinusoïdales pour actionner les récepteurs Wheatstone, par KENNELLY.
Sur les cohéreurs décohérants et sur un essai de théorie des cohéreurs en général, par le capitaine FERRIÉ.
Sur les mouvements de la limaille dans les cohéreurs, par SEMENOV.
Sur l'utilisation de la télégraphie sans fil pour éviter les collisions en mer, par BODDE.

SECTION V. — *Électro-physiologie.*

Lundi 21 août. — Analogie entre la constitution des lignes de force magnétique et électromagnétique dans les machines et la disposition des cellules dans les plantes, par STANOÏEVITCH.

LES PROGRÈS DES LAMPES ÉLECTRIQUES, par André BLONDEL, Ingénieur des Ponts et Chaussées.

Il serait oiseux aujourd'hui de rappeler les origines de l'éclairage électrique, et ses prodigieux développements. A vrai dire, il ne date guère, au point de vue pratique, que de vingt ans [1] ;

[1] La machine Gramme date de 1870, et le premier éclairage d'atelier de 1873, mais l'éclairage à arc n'a pris pied réellement sur la voie publique et dans les magasins qu'après l'invention de la bougie Jablochkoff en 1877. L'ère de l'éclairage privé ne date que de l'apparition des lampes Swan et Edison (1880) qui ont été l'événement capital de l'exposition d'Électricité de 1881 ; la première section de distribution d'éclairage n'a été créée qu'en 1882 à New-York. Depuis cette époque des stations ont été construites en grand nombre dans tous les pays civilisés ; les pays neufs, tels que l'Amérique, où l'éclairage au gaz était moins développé qu'en Europe, sont ceux où l'éclairage électrique a pris la plus grande importance.

mais comme toutes les inventions qui sont entrées définitivement dans le patrimoine de l'humanité, cette découverte nous paraît déjà lointaine et c'est de son avenir que doit se préoccuper le Congrès des électriciens bien plus que de son passé. L'histoire en a été faite du reste magistralement par quelques-uns de ses premiers pionniers jusqu'à l'Exposition de 1889, et, depuis lors, peu de changements vraiment importants dans la technique des lampes se sont produits, si l'on en excepte ceux qui sont encore dans la période d'études et que nous aurons à examiner.

Mais la situation est loin d'être la même qu'il y a dix ans pour l'éclairage électrique.

D'une part, grâce précisément au débouché créé par cette application, l'outillage de production et de distribution s'est considérablement perfectionné par d'incessantes améliorations de la construction et du rendement des machines génératrices, transformateurs, accumulateurs, etc., par l'emploi d'unités puissantes actionnées directement par des moteurs économiques, par l'accroissement des tensions de distribution, etc. Il en résulte un certain abaissement du prix de revient de l'énergie, et surtout une complète sécurité de fonctionnement de l'éclairage électrique, auquel on ne peut plus, comme jadis, reprocher quelquefois des extinctions malencontreuses. L'éclairage électrique n'est plus une nouveauté plus ou moins discutable ; c'est une réalité connue et appréciée de tous, entrée dans nos mœurs aussi bien que l'éclairage au gaz et dont personne n'oserait plus maintenant mettre en doute la valeur pratique et le confort. Il a pénétré dans les villages les plus pauvres et l'on ne compte plus aujourd'hui les petites distributions rurales, où, grâce à une petite chute d'eau, on éclaire la commune presque gratuitement et les habitants à des prix modiques, de 20 à 50 fr. par lampe-année de 16 bougies.

En même temps, tous les détails de l'appareillage, depuis les interrupteurs, coupe-circuits, rhéostats et compteurs, jusqu'aux attaches de lampe, aux bronzes artistiques qui les portent et à leur lustrerie spéciale, ont été l'objet d'incessantes améliorations. Grâce à des spécialistes pleins de goût, un art nouveau s'est formé et a permis de tirer parti de l'éclairage électrique pour des effets nouveaux et séduisants, impossibles à réaliser avec les autres illuminants. L'élégance, la commodité et l'hygiène de cet éclairage sont aujourd'hui reconnus et lui conquièrent chaque année de nombreux adeptes ; c'est ainsi que, dans les grandes villes, toutes les maisons neuves des beaux quartiers, tous les hôtels ou restaurants modernes sont munis d'une distribution électrique ; les architectes la prévoient dans leurs devis au même titre que la distribution d'eau.

Dans les théâtres, les ministères, les grandes administrations, les banques, magasins, ateliers, les conditions de sécurité et d'hygiène ont fait presque partout remplacer le gaz par les lampes à arc ou à incandescence.

Les grands navires de commerce ou de guerre ont trouvé dans l'éclairage électrique la solution d'un problème autrement presque insoluble. Et nous ne parlons pas ici des emplois spéciaux des gros foyers à arc dans les phares, les projecteurs, les éclairages des chantiers, où ils permettent seuls d'atteindre les résultats merveilleux auxquels nous sommes maintenant trop accoutumés pour nous en étonner.

Mais, d'autre part, pendant qu'elles obtenaient ce droit de cité, les lampes électriques ont vu se dresser contre elles la redoutable concurrence de nouveaux modes d'éclairage, très économiques, et très brillants : l'incandescence par le gaz ou les liquides gazéifiés et l'acétylène, que l'on ne connaissait pas en 1889. L'invention du manchon d'oxydes incandescents par Auër von Welsbach a complètement modifié les bases de comparaison entre le gaz et l'électricité, et a produit, on ne saurait le dissimuler, sinon un arrêt, du moins un certain ralentissement dans l'accroissement de l'éclairage électrique, surtout de l'éclairage par lampes à incandescence [1]. Mais l'écart des prix

[1] Tandis qu'avec les becs anciens, il ne fallait pas moins de 10 à 15 litres de gaz de houille par bougie-heure, ou 5 litres pour les récupérateurs grand modèle, le bec Auer consomme seulement 1 à 2 litres suivant qu'on prend les types plus ou moins perfectionnés, et le renouvellement du manchon ne revient pas à plus de 6 à 10 centièmes de centime. La bougie-heure par bec Aüer peut s'abaisser ainsi au prix minimum de 0,003 fr, à 0,005 fr avec du gaz à 0,20 fr le mètre cube, tandis que la lampe à incandescence, consommant 2,5 à 3,5 watts par bougie, coûte environ 0,015 fr à 0,021 fr par bougie-heure avec l'énergie à 0,60 fr le kilowatt-heure, et la lampe à arc, consommant

de revient sera sans doute bientôt comblé, grâce à des inventions nouvelles, telles que la lampe Nernst, et les avantages de la lumière électrique qu'on vient de signaler sont tels qu'à côté d'eux la question d'économie peut paraître secondaire.

Classification des lampes électriques. — En 1889, l'éminent rapporteur M. Fontaine, l'un des ingénieurs qui ont le plus contribué au succès de l'éclairage électrique en France, distinguait quatre espèces de lampes, les lampes à arc à crayons opposés, les bougies à charbon parallèles, les lampes à incandescence ordinaires et celles de grande intensité. On peut dire aujourd'hui qu'il n'y en a plus que deux, les lampes à arc et les lampes à incandescence ordinaires, les deux autres ayant pratiquement disparu, bien que quelques rares industriels emploient encore des bougies Jablochkoff jusqu'à l'usure de leur matériel ; on ne fabrique plus guère, du moins en Europe où l'énergie est chère, de lampes à incandescence de grande intensité ; peut-être y reviendra-t-on avec la lampe Nernst, mais il n'y aura plus lieu d'en faire une catégorie spéciale.

L'objet de ce Rapport est de passer en revue les résultats actuels et les perfectionnements désirables des lampes à arc et des lampes à incandescence.

Progrès des lampes a arc. — Depuis dix ans, les applications de la lampe à arc se sont extraordinairement multipliées, non seulement parce qu'elle est puissante et économique, mais aussi parce qu'on est arrivé à lui donner une grande perfection de fonctionnement. De grands progrès ont été réalisés tant au point de vue de la théorie que de la construction.

Progrès de la théorie de l'arc électrique. — Bien qu'il n'entre pas dans le cadre de ce Rapport d'examiner les propriétés de l'arc électrique, qui sont aujourd'hui surtout du domaine du physicien pur, on doit signaler de notables accroissements de nos connaissances au sujet de ce phénomène curieux, bien que la vraie nature nous en échappe encore.

Les beaux travaux de M. Violle ont donné, avec une précision suffisante, les températures maxima que l'arc réalise, 3 500° pour le positif, 2 700° pour le négatif, et montrent que, dans une enceinte fermée, l'éclat et la température du cratère sont des constantes.

Après une discussion de plusieurs années, à laquelle ont pris part notamment Edlund, V. Lang, Arons, Stenger, Luggin, Blondel, etc., il semble établi aujourd'hui, conformément aux conclusions de l'auteur, qu'il n'existe pas, dans l'arc, de force contre-électromotrice au sens ordinaire du mot, mais seulement une résistance au passage, qui peut être considérablement modifiée par les substances ajoutées dans la mèche des charbons.

De nombreux auteurs avaient en vain cherché une loi simple pour relier les divers éléments du régime de l'arc ; dans une série d'admirables travaux, M[me] Ayrton a résolu pour la première fois ce problème d'une manière complète ; elle a montré en particulier que l'énergie consommée est une fonction linéaire, pour chaque diamètre de crayon. Les courbes qu'elle a tracées mettent en évidence toutes les conditions de production de l'arc court et de l'arc long, ainsi que la région d'instabilité qui les sépare.

La résistance apparente qui caractérise le régime de l'arc varie non seulement avec le diamètre des charbons et la longueur de l'arc, mais aussi, comme l'ont étudié entre autres MM. S.-P. Thompson, Ayrton, Marks, etc., avec la nature des charbons et des gaz dans lesquels les charbons sont placés. M. E. Wilson, reprenant une expérience déjà exécutée, il y a près de vingt ans, par M. Cailletet, a montré que l'éclat du charbon positif décroît quand on augmente la pression ; par la détente des gaz un nuage de carbone apparaît. M. Guillaume voit là un phénomène de dissolution du carbone, et M. Le Chatelier attribue la fixité de la température du cratère dans une enceinte à la constance du point de fusion du carbone. D'après des expériences de l'auteur, exécutées avec M. Letheule, et d'autres continuées en collaboration avec M. Rey, l'éclat à l'air libre croît avec l'intensité du courant et passe de 150 bougies par millimètre carré pour les plus

0,5 à 1,5 watt par bougie, 0,003 fr à 0,009 fr, sans compter le remplacement des charbons, ni l'entretien des canalisations.

petits, à plus de 220 bougies pour les arcs puissants des projecteurs. On constate également que l'addition d'une âme saline abaisse l'éclat en même temps que la force électromotrice.

L'effet le plus inattendu de l'atmosphère ambiante est celui qu'a découvert Mme Ayrton dans l'étude du phénomène de l'arc sifflant; d'après son analyse pénétrante, ce phénomène si longtemps discuté, accompagné d'une lueur verte déjà signalée par l'auteur, serait dû à l'arrivée de l'oxygène de l'air au contact du cratère ; il ne se produit pas dans les autres gaz ni au-dessous d'une certaine densité de courant ; il est précédé du phénomène de Trotter, qui consiste dans une rotation très rapide de l'arc sur lui-même.

Les phénomènes de l'arc alternatif, sur lequel on ne savait que peu de choses après quelques notes de Joubert, Tobey et Walbridge, ont été également l'objet de recherches fructueuses. De 1891 à 1893, l'auteur a donné une analyse détaillée des périodes d'allumage et d'extinction de de l'arc et de ses courbes périodiques de courant et de force électromotrice, dont la forme explique, en l'absence même de tout décalage, une réduction du facteur de puissance ; il a mis en évidence les rôles de la composition du circuit (résistance ou self-induction), de la nature plus ou moins conductrice de la mèche, de la forme de la courbe de la force électromotrice de la machine génératrice. Ces résultats ont été confirmés par des essais intéressants de MM. Frith, Fleming et Petavel, Gorges, Barr, Burnie et Rogers, etc., et, par une étude analogue et étendue de MM. Duddel et Marchant.

Il semble établi que la forme de la courbe de force électromotrice et la self-inductance du circuit peuvent modifier un peu le régime, c'est-à-dire la relation entre la force électromotrice efficace et l'intensité efficace, mais que l'effet de la self-induction est prépondérant; celle-ci accroît la stabilité, en même temps que, dans une faible mesure, le rendement dans le cas des charbons homogènes, mais elle réduit le facteur de puissance.

En pratique, toutes les courbes sont arrondies par suite de l'influence de l'âme conductrice des charbons employés, ce qui permet d'atteindre des facteurs de puissance voisins de l'unité.

Stabilité de l'arc électrique et modes de réglage des lampes. — L'arc électrique ne suit pas la loi d'Ohm, car l'augmentation du courant amène un accroissement de la section de l'arc, et, par suite, une diminution de sa résistance. Il y ainsi tendance à un régime instable, et l'arc s'éteindrait bientôt si l'on ne prenait des précautions spéciales, et en particulier, sur les distributions à potentiel constant, l'addition d'une résistance en série qui fait varier le potentiel aux bornes en sens inverse de l'intensité du courant. L'auteur a indiqué, en 1891, comment les conditions de stabilité peuvent être étudiées en traçant la courbe *caractéristique d'extinction* de l'arc pour l'écart et les charbons donnés, c'est-à-dire la courbe des tensions aux bornes en fonction de l'intensité du courant quand on fait varier celle-ci ; ces courbes instantanées qu'il a relevées, avec le concours de M. Letheule, par deux oscillographes croisés, présentent des formes analogues à celles des courbes de Mme Ayrton, mais non identiques, car le cratère n'a pas ici le temps de se modifier ; presque horizontales aux environs du régime normal, elles se relèvent rapidement quand l'intensité tend vers zéro.

La caractéristique d'alimentation aux bornes doit les couper sous un certain angle pour que la stabilité soit assurée *indépendamment de tout mécanisme*. Outre ce rôle, la résistance ajoutée en a deux autres moins importants : elle réduit l'intensité maxima du courant si la lampe vient au collage ; elle permet sur les distributions en dérivation d'employer, au lieu de bobines de réglage en série, des bobines shunt, qui facilitent l'uniformité des types.

Au point de vue du mode de réglage, tout le monde est à peu près d'accord aujourd'hui pour reconnaître la supériorité du système différentiel qui règle à résistance constante.

Tandis qu'une lampe en simple dérivation exige une perte supplémentaire de 30 p. 100 de sa tension dans une résistance de stabilité (hors charbons), la lampe différentielle n'exige que 15 p. 100 (par exemple, une lampe de 30 volts en demande 39 en simple dérivation et 34,5 en différentiel) ; ces chiffres dépendent aussi du nombre de lampes en série.

Avec une résistance absorbant 15 p. 100 les variations du courant sont limitées à 8-10 p. 100.

L'arc à courants alternatifs se contente encore d'une moindre résistance de stabilité à cause de la plus grande sensibilité du mécanisme sous l'influence des vibrations.

On peut admettre comme chutes minima supplémentaires 10 p. 100 pour le continu, 5 p. 100 pour l'alternatif, et comme voltage minimum 30 volts pour l'alternatif avec 1,50 en plus dans une résistance, soit 31,50 par lampe, et 34 volts pour le continu (avec charbons spéciaux) avec 3,5 à 4 volts supplémentaires dans la résistance, soit 37 volts par lampe. Pour les courants alternatifs, on préfère d'ailleurs avec raison employer, au lieu du rhéostat, des bobines de self-induction, comme on l'a dit plus haut, ou monter les arcs par 3 ou même 4 (avec des charbons 23 volts) sur des transformateurs ou des compensateurs munis de bornes appropriées, suivant un système employé d'abord par les Compagnies Ganz et Hélios.

Cependant les lampes à arc à électro en simple dérivation présentent quelques avantages sérieux, qui leur conservent des partisans : elles sont plus simples ; elles ne risquent pas d'être brûlées par un courant exagéré ; elles permettent de modifier par un réglage facile l'intensité de régime dans de grandes limites, ce qui n'est pas possible avec les lampes différentielles. Ces dernières introduisent du reste dans le circuit une résistance qui joue le rôle d'un vrai rhéostat et qui explique, dans une certaine limite, la plus grande stabilité.

L'étude oscillographique des extinctions de l'arc, signalée ci-dessus, montre d'autre part que l'extinction spontanée d'un arc sans résistance additionnelle est un phénomène relativement lent, qui se produit en un temps appréciable de l'ordre du 1/10 de seconde et même davantage, et d'autant plus lent que les charbons employés ont une âme plus riche en matières salines conductrices. On peut donc chercher à maintenir constamment le régime à sa valeur normale, en corrigeant les écarts par un mécanisme rapide, qui éloigne assez promptement les charbons dès que le courant augmente, et les rapproche au contraire dès qu'il diminue. Cela explique qu'on ait pu construire, comme on le dira plus loin, des lampes marchant avec des résistancos additionnelles très faibles ou même nulles, en leur donnant un mécanisme, non seulement très sensible pour régler le rapprochement lent des charbons, mais encore permettant un mouvement de recul rapide toujours prêt à agir. Ce dispositif amènerait, par suite de l'inertie des pièces en mouvement, des oscillations longues de régime (pompage), si l'on n'amortissait le mécanisme de recul ; cet amortissement est obtenu dans toutes les bonnes lampes modernes par des pompes à air.

L'application du recul rapide a été portée à sa plus grande perfection dans la lampe différentielle Vigreux et Brillié et explique sa propriété de marcher sans rhéostat, concurremment avec l'emploi de charbons à âmes salines très conductrices qui présentent une marge de fonctionnement très étendue et abaissent le point de sifflement et la tension nécessaire pour une longueur d'arc donnée.

Construction des lampes à arc. — La lampe à arc présente de sérieuses difficultés de construction, car elle doit être à la fois précise et aussi rustique que possible. Elle est exposée en effet, le plus souvent, dans les grands chantiers et ateliers, les gares, les ports ou voies publiques, à toutes les variations de température et d'humidité, à des condensations de vapeur, à l'oxydation, à la poussière qui encrasse le mécanisme, souvent à des fumées ou vapeurs corrosives. Elle doit pouvoir être mise entre les mains les moins expérimentées et les moins soigneuses et cependant ne donner lieu qu'à de rares dérangements, et les réparations doivent en être faciles et rapides.

Aussi, toutes les lampes de première marque ne sont-elles arrivées à la réputation que grâce à une grande simplicité d'organes, à l'absence de risques de ruptures et à la facilité du démontage.

Aux États-Unis ces qualités ont jusqu'ici paru suffisantes. En Europe, on exige, en outre, une fixité absolue de la lumière grâce à un fonctionnement parfaitement continu du mécanisme, et à une excellente qualité des charbons, et il est peu probable qu'on renonce à ces desiderata. C'est grâce du reste à ces exigences qu'on est arrivé à une grande perfection dans la construction.

Pendant longtemps les efforts des constructeurs se sont portés sur les dispositifs sans méca-

nisme d'horlogerie; et c'est à ceux-ci que doivent leur succès les excellentes lampes Brush, Pilsen, Bardon, Brianne, Sautter-Harlé, etc., pour n'en citer que quelques-unes.

Cependant, on constate dans les lampes les plus récentes un certain retour aux mouvements d'horlogerie à échappement, à cause sans doute de leur plus grande sensibilité et de leur faible consommation d'énergie. Quant aux mécanismes à moteurs, ils ne sont plus guère employés dans les lampes à courant continu, à cause de la complication du collecteur, si ce n'est pour les grosses lampes des projecteurs. Au contraire, sur les courants alternatifs plusieurs constructeurs réalisent d'élégants régulateurs à moteurs asynchrones, réduits dans certaines lampes à de simples disques de cuivre ou d'aluminium embrassés par des électro-aimants de phases différentes.

On possède du reste aussi de très bonnes lampes à arc à courants alternatifs à déclenchement ou à frein ; mais il a fallu aux constructeurs d'assez longues recherches pour les mettre au point.

Le mécanisme des lampes à courants alternatifs présente en effet une difficulté spéciale. Non seulement la self-inductance réduit l'intensité du courant dans les bobines en dérivation, ce qui rend difficile d'obtenir le même nombre d'ampères-tours avec la même intensité de courant, mais encore cette self-induction varie avec l'enfoncement du noyau où le rapprochement de l'armature, de façon à compenser en grande partie la variation de courant que tend à produire dans la bobine une variation de la tension aux bornes. Cette variation, dans les types usuels, est ainsi réduite au 1/5 ou au 1/10 de ce qu'elle devrait être. Il en résulte une diminution de sensibilité qui exige l'emploi de mécanismes plus délicats et a rendu longtemps difficile l'obtention de bonnes lampes à courants alternatifs.

M. Claude a eu l'idée ingénieuse de corriger cet effet par l'emploi de condensateurs en série annulant la self-induction de la bobine en fil fin, et il a montré qu'il suffisait, sous de faibles voltages, d'un appareil très simple et peu encombrant ; on peut regretter que ce dispositif n'ait pas encore fait l'objet d'applications industrielles.

Cependant, il convient de remarquer que la grande self-induction a un avantage, c'est de rendre l'impédance à peu près indépendante des variations de température des bobines de réglage en dérivation. Dans les lampes à courant continu l'échauffement produit au contraire une variation de résistance du shunt assez notable pour modifier sensiblement le régime de fonctionnement de la lampe. Certains constructeurs tel que Körting et Mathiesen ont supprimé ce défaut par l'addition d'ingénieux compensateurs à dilatation agissant sur l'organe de déclenchement du mécanisme. Malheureusement, ils n'ont pu encore compenser une autre importante variation provenant de la diminution de la résistance des charbons au fur et à mesure de leur usure; il en résulte des variations de longueur de l'arc qui dépassent souvent 1 mm.

Lampes à deux paires de crayons. — Parmi les perfectionnements du mécanisme, il convient enfin de citer la réalisation de bonnes lampes à deux paires de crayons, fonctionnant non plus alternativement, comme les anciens régulateurs de la Compagnie P.-L.-M., mais successivement, de façon à doubler la durée du fonctionnement, ou à réduire le diamètre des charbons pour augmenter le rendement lumineux. On peut signaler, parmi les meilleurs dispositifs de ce genre, les lampes de Crompton-Pochin, Brockie-Pell, qui sont depuis longtemps employées en Angleterre pour l'éclairage public ; la lampe Roumazeilles employée par la Compagnie des Chemins de fer d'Orléans, celle de Körting et Mathiesen en Allemagne, etc. L'auteur a depuis longtemps recommandé ces lampes pour la meilleure utilisation de l'énergie. Elles présentent au point de vue pratique d'autres avantages non moins importants qu'a fait bien ressortir, par exemple, l'expérience de la Compagnie d'Orléans : c'est la réduction de la main-d'œuvre et des déchets de charbon, dont le prix n'est pas négligeable dans une installation qui produit elle-même son énergie électrique. Enfin, ces lampes, mises en série, donnent une solution assez simple du problème de l'échange des lampes à arc sur les réseaux où l'on change la tension de 110 volts en 220 volts.

Groupement des lampes à arc. — L'emploi des arcs isolés, considéré autrefois comme une nécessité, n'est plus aujourd'hui qu'une exception très rare, qu'on rencontre dans les phares ou

les projecteurs ; et encore sur les navires alimente-t-on maintenant ces appareils en dérivation simple. Dans l'industrie, on ne rencontre plus celle-ci que dans d'anciennes installations à 80 volts ; les distributions normales sont à un ou plusieurs ponts de 100 à 120 volts.

Pour ces ponts, on se trouve aujourd'hui en présence de trois systèmes concurrents. L'ancien système, qui est encore le plus répandu, consiste dans l'emploi de deux lampes en série, absorbant chacune environ le tiers du voltage de 110 volts, le dernier tiers étant consommé par une résistance de stabilité ; cette proportion de la résistance au voltage utile remonte à l'emploi, autrefois général, des mécanismes à bobines en dérivation, dont la régulation ne peut s'effectuer que grâce à une chute de tension assez importante dans une résistance ; celle qu'on vient d'indiquer est celle qui rend minima les variations de régime de ces lampes. Les constructeurs se sont efforcés depuis plusieurs années de réduire l'importance de la résistance de stabilité. Ils ont introduit dans ce but l'emploi des lampes différentielles ; grâce à leurs propriétés, la résistance de l'arc reste constante et les variations de l'intensité lumineuse sont sensiblement indépendantes de la valeur de la résistance additionnelle. Aussi peut-on, avec ces lampes, monter le voltage utilisé sans inconvénient jusqu'à 40 volts pour les arcs de 9 à 10 ampères, jusqu'à 45 volts pour les arcs de 20 ampères.

Dans ces dernières années, deux tendances opposées se sont manifestées :

Les uns, à la suite de M. Marks, préoccupés de simplifier les installations et d'assurer l'indépendance complète de toutes les lampes, ont abandonné la préoccupation du rendement et préconisé l'emploi de l'arc enfermé à haut voltage fonctionnant directement sur 110 volts. Mais ce système est loin d'éviter toute résistance : on ne peut même pas dire qu'il la réduise sensiblement, puisque la lampe n'absorbe que 80 volts et qu'elle présente déjà par elle-même une assez forte résistance.

D'autres au contraire, persévérant dans la voie primitive, ont cherché à augmenter l'utilisation en groupant les lampes, mais par trois en série dont chacune absorbe de 30 à 35 volts.

Lampes à bas voltage. — Cette idée n'est pas précisément nouvelle ; car, dès 1889, la maison Sautter employait ce dispositif et la maison Schuckert publiait des résultats d'essais à ce sujet avec des lampes Pilsen. Mais ce n'est qu'à partir de 1897, date de l'apparition du système Hegner (lampe Volta), que la réalisation de cette idée est entrée réellement dans la pratique industrielle, et tous les constructeurs rivalisent aujourd'hui pour le mettre en œuvre.

Plusieurs dispositions sont préconisées concurremment. Les uns, comme Siemens et Halske et plus récemment Körting et Mathiesen, etc., se contentent d'ajouter à des lampes différentielles très bien construites un rhéostat réglable, à touches, à l'aide duquel on intercale pour l'allumage une grande résistance, qu'on réduit progressivement jusqu'à l'annuler même.

Une fois mises ainsi en marche, les lampes munies de charbons spéciaux continuent de bien fonctionner, mais on peut craindre que la mise de l'une d'elles au collage se produise malgré la perfection du mécanisme et donne lieu alors à une augmentation de courant dangereuse.

Un second dispositif imaginé par M. Hegner et qui a fait beaucoup de bruit, sous le nom de *lampe Volta*, a pour but d'éviter ce second inconvénient. Ses lampes différentielles munies de charbons spéciaux, ne présentent encore aucune particularité de mécanisme, mais chaque série de trois est accompagnée d'un rhéostat automatique à quatre touches, dont toutes les sections s'intercalent à l'allumage et s'éliminent successivement en marche; la mise en court-circuit d'un des foyers est sans danger et la stabilité est convenablement assurée.

Enfin, plus récemment, MM. Vigreux et Brillé ont imaginé un mécanisme spécial qui permet de supprimer tout rhéostat fixe ou automatique. Ce régulateur est du système différentiel et à frein; ce qui le caractérise, c'est d'une part que le réglage, rendu indépendant de tout ressort, poids, frottement, etc., est indéréglable et, d'autre part, que le mécanisme peut produire à tout instant un recul très rapide et très considérable. D'après la théorie exposée plus haut, c'est à cette dernière propriété qu'il faut attribuer entièrement le succès obtenu.

Bien que ces combinaisons aient déjà fait leurs preuves et donné lieu à de nombreuses appli-

cations, la discussion est encore ouverte sur leurs mérites respectifs et sur la supériorité qu'elles présentent par rapport au système classique. La base de toute comparaison, c'est le voltage absorbé aux bornes de chaque lampe. Sur le réseau à trois fils, chaque lampe d'une série de trois peut absorber 36 à 37 volts, mais en pratique ce chiffre se réduit à 35 volts par suite de la résistance du conducteur, tandis qu'il peut atteindre 40 à 45 volts pour les lampes groupées par deux.

Les avantages des lampes à bas voltage sont l'augmentation du nombre des foyers qui assure une meilleure répartition de la lumière, et, dans une certaine mesure, comme on le verra plus loin, l'amélioration du rendement lumineux ou l'économie de consommation. Leurs inconvénients sont l'augmentation des frais d'achat et d'entretien, la complication et la délicatesse du mécanisme, l'emploi de crayons spéciaux et de qualité tout à fait irréprochable.

Le groupement par trois n'a d'ailleurs de raison d'être que sur de très courtes canalisations dont la résistance est insignifiante. Dans les distributions sur de grands espaces, la résistance de stabilité des groupements par deux arcs en série étant ordinairement constituée pour la plus grande partie par la résistance même des conducteurs, le groupement par trois ne serait possible qu'à condition d'accroître la section du cuivre et le prix des canalisations d'une façon souvent tout à fait disproportionnée au résultat qu'on peut en attendre [1].

L'emploi des lampes à arc de faible voltage ne semble en tout cas avoir de raison d'être que sur les réseaux à 110 volts, à moins qu'on ne le considère comme un procédé pour augmenter le morcellement de la puissance lumineuse entre un plus grand nombre de foyers, résultat qu'on peut atteindre aussi du reste par l'emploi de lampes de plus faible ampérage.

Mais quand la distribution se fait à des tensions de 220 volts et au-dessus, et surtout quand il s'agit de substituer la tension de 220 volts à celle de 110 sur un réseau existant, comme le font un grand nombre de distributions principalement en Angleterre, la question se présente à un point de vue presque opposé et l'on peut dire que dans ce cas on doit chercher plutôt à diminuer le nombre des foyers sous une tension donnée. C'est de ce dernier problème que les lampes à arc enfermé donnent la solution.

L'éclairage par arcs en série, qui permet des canalisations très économiques, continue à être répandu aux États-Unis où l'on a amélioré le rendement des premières machines spéciales Brush, Thomson-Houston à induit ouvert, destinées à cet usage ; on a même créé des types à induit fermé à haute tension fonctionnant sans étincelle, tels que la machine Wood, etc. Les arcs alternatifs en série alimentés directement ou par des transformateurs-série sont également assez répandus. En Europe au contraire la distribution en série a été presque complètement abandonnée à cause du peu d'indépendance qu'elle procure et des dangers des hautes tensions. On ne peut signaler qu'une application nouvelle intéressante : l'éclairage par arcs en série et courants redressés au moyen des transformateurs à courant constant et des redresseurs Ferranti. Cette méthode, employée avec succès pour l'éclairage public dans plusieurs villes anglaises, ayant une station à courants alternatifs, permet d'employer des arcs de meilleur rendement que les arcs alternatifs et des lampes très sensibles, tout en utilisant le courant même de l'usine ; mais le courant redressé pulsatoire qu'elle emploie est aussi dangereux que du courant alternatif. Aussi n'a-t-elle pas pénétré sur le continent, où l'on préfère franchement transformer le courant en courant continu par commutatrices ou employer des arcs alternatifs avec réflecteurs.

Lampes à arc enfermé. — L'idée d'enfermer l'arc dans un récipient de verre pour réduire l'usure des charbons est des plus anciennes. Déjà Staite l'avait réalisée en 1846 et Varley et André l'avaient reprise en 1878 et 1879. De 1880 à 1884 surtout, de nombreux chercheurs, en particulier Werdermann, avaient utilisé la même idée. Encore au Congrès de Chicago en 1893, MM. Marks et Howard exposaient les essais plus scientifiques, mais également infructeux au point de vue pratique, qu'ils avaient exécutés dans la même voie que leurs devanciers.

L'insuccès de tous provenait de ce qu'ils voulaient simplement mettre à l'abri de l'air un arc

---

[1] Cette question a été traitée récemment devant la Société des Électriciens dans une intéressante discussion à laquelle ont pris part MM. Gosselin, Hegner, Aliamet, Bochet, Sartiaux, etc. (décembre 1899, janvier 1900).

ordinaire. Dans ces conditions le récipient se couvrait rapidement d'une couche opaque de poussière de charbon. C'est en 1894 seulement qu'a paru l'arc enfermé moderne, qui est caractérisé par l'emploi d'un arc très allongé fonctionnant sous un voltage de 75 à 80 volts, double du voltage ordinaire dans une enceinte imparfaitement close. Des brevets ont été pris pour ce dispositif à peu près simultanément par M. Marks et M. Jandus, mais c'est au premier de ces deux inventeurs que les cours américaines ont reconnu la priorité. Depuis cette époque, presque toutes les grandes maisons de construction ont imité plus ou moins servilement leurs dispositifs.

La lampe Marrks ou Jandus consiste en principe en un arc voltaïque enfermé dans un double globe, dont le second, fermé par un obturateur de forme spéciale (check-gas-plug), permet la dilatation de l'air sous l'action de la chaleur dévelopée par l'arc et ne permet qu'un échange très faible entre les atmosphères intérieure et extérieure. Le grand globe extérieur fermé par une soupape constitue lui-même une seconde enceinte préservatrice qui se remplit des gaz brûlés dans le petit globe. La combustion des charbons placés dans ces conditions se trouve extrêmement retardée et leur renouvellement ne se fait, suivant leur longueur, que toutes les 150 à 200 heures. Les dispositions de l'obturateur et du mécanisme de rapprochement diffèrent un peu d'un constructeur à l'autre.

L'arc obtenu dans le mélange de gaz peu favorable à la combustion des charbons présente un aspect tout spécial : le charbon positif supérieur est à peine creusé parce que l'arc tourne constamment autour de son extrémité, le charbon négatif inférieur est presque plan ; leur distance normale est environ 8 mm pour un arc de 80 volts. Le mécanisme de toutes ces lampes est des plus rudimentaires : il comporte seulement un solénoïde monté en série avec l'arc et la résistance qui absorbe le reste du voltage disponible, agissant sur le charbon supérieur par un système de coïncement ou d'enclenchement des plus simples.

Le charbon supérieur seul avance en vertu de son poids tandis que le charbon inférieur est fixe ; mais l'usure en une heure est si faible (pour le positif et même pour le négatif) que le point lumineux se déplace peu. Après usure du charbon positif, le charbon négatif est repris pour former charbon positif, tandis qu'on replace un négatif neuf ; on ne renouvelle ainsi qu'un seul charbon à chaque opération.

Les avantages des arcs enfermés sont : l'indépendance des foyers, leur montage en simple dérivation sur 110 volts ou par paire en série sur 220 volts, l'extrême simplicité du mécanisme, l'emploi de crayons de qualité médiocre, la consommation très réduite de charbons, la réduction de la main-d'œuvre (d'après la Brooklyn Edison C°, cette double économie atteindrait 75 fr. par lampe an). Leurs inconvénients, par contre, sont la teinte bleue de la lumière, les variations d'éclat qui ne peuvent être atténuées que par l'emploi d'un petit globe diffuseur absorbant une partie de la lumière ; l'encrassement de celui-ci, par suite d'un dépôt ocreux de silice chargée d'un peu d'oxyde de fer (dépôt qu'on pourrait supprimer) pendant la combustion, et, comme on le verra plus loin, le rendement lumineux médiocre avec de gros charbons.

Quant à la répartition de la lumière, dont le maximum a lieu vers 15° ou 20° au-dessous de l'horizon au lieu de 45°, il peut être considéré comme un avantage ou un inconvénient suivant qu'il s'agit d'éclairage en plein air ou dans les intérieurs.

Les arcs enfermés se sont très vite répandus aux États-Unis, grâce à leur simplicité et aussi aux moindres exigences du public au sujet de la fixité et du rendement de l'éclairage. En trois ans ce système est devenu plus répandu que les lampes à arc ordinaire.

Aussi a-t-on eu l'idée d'en faire l'application même aux courants alternatifs et on est arrivé, en effet, à obtenir des arcs de ce genre, suffisamment stables, qui ont permis de réaliser des distributions par arcs en dérivation et même en série. Dans certaines villes telles que Hartford on emploie des circuits de 25 à 100 lampes de ce genre, alimentées en série par des transformateurs à courant constant analogues à ceux de Ferranti, signalés plus haut. Malheureusement le rendement de ces arcs ne justifie pas, jusqu'à présent du moins, cette solution, comme on le verra ci-dessous.

Charbons. — En même temps qu'on perfectionnait le mécanisme des lampes, on a amélioré la

fabrication des charbons qu'elles utilisent et dont la qualité a une si grande influence sur la régularité et sur le rendement en lumière.

Le desideratum est de concilier un bas prix de revient avec la production de crayons parfaitement homogènes, ne donnant lieu à aucun à-coup, ayant une longue durée et une résistance aussi faible que possible (1), un point de sifflement très bas et une grande marge de fonctionnement.

L'ancienne fabrication, à laquelle M. Carré était resté seul fidèle, jusqu'à sa mort, et qui consistait à recuire plusieurs fois les charbons après les avoir trempés dans certains sirops, donnait des produits admirables, mais bien trop chers. On arrive aujourd'hui à des résultats certainement moins bons, mais suffisants pour l'industrie au moyen de charbons cuits une seule fois.

Certaines maisons ont cependant une seconde qualité plus chère, faite avec des matériaux de choix plus fins et cuits deux fois.

La base essentielle et dominante des charbons européens est le graphite de cornue à gaz soigneusement trié, séparé à la main de la gangue siliceuse (2) et mélangé avec des proportions variables de noir de fumée, de goudron et de certaines substances chimiques ajoutées pour accroître soit la durée, soit la puissance lumineuse (on n'obtient en général l'accroissement de l'un de ces facteurs qu'au détriment de l'autre). La pâte formée de ces matières, réduite en poudre et purifiée, est, après de nombreux malaxages, filée sous pression et cuite à la plus haute température possible; elle est souvent imprégnée d'acide borique.

Tous les fabricants européens ajoutent au charbon positif, suivant le dispositif inventé par Siemens frères, une mèche à base de charbon mélangé de silicates ou de borates, qui émettent des vapeurs conductrices favorables à la conductibilité et à la stabilité de l'arc. C'est grâce à la mèche qu'on a pu abaisser le point de sifflement au-dessous de 35 volts et réaliser un arc stable entre des limites de voltage très espacées; la mèche est le secret du bon fonctionnement des lampes modernes.

Grâce à la concurrence des constructeurs et au perfectionnement de l'outillage et des procédés, le prix des charbons n'est guère aujourd'hui que le 1/10 de ce qu'il était il y a dix ans (0,15 fr. à 0,20 fr. par mètre pour des charbons de 12 mm), et comme leur durée a été en même temps doublée, leur prix ne joue plus qu'un rôle assez secondaire dans l'éclairage par arc en comparaison du prix de l'énergie consommée sur les secteurs du continent. Les charbons européens sont d'un usage très répandu aux Etats-Unis; mais on y fabrique aussi pour la consommation américaine seule des qualités filées ou moulées de charbons inférieurs, à base de pétrole, purifiés par traitement à l'acide, et de noir de fumée. Ces charbons homogènes et très peu conducteurs conviennent bien aux lampes de longue durée à arc long, mais pour les lampes à basse tension on est obligé de les faire très tendres et de les cuivrer. Le cuivrage est abandonné en Europe, sauf quelquefois pour les lampes de projecteurs, car les gouttes de cuivre fondu qui se détachent amènent des extinctions ou des dérangements du régime.

L'auteur a cherché en vain un bon criterium pour reconnaître la qualité des charbons d'après leurs propriétés physiques, leur structure moléculaire ou leur analyse chimique Il a constaté seulement que toutes les qualités usuelles présentent des données analogues : densité apparente 1,30 à 1,35 ; réelle 1,50 à 1,85; résistance spécifique de 0,0050 à 0,01 ohm-centimètre, et généralement aux environs de 0,008 à 0,0095, tandis que les anciens charbons Carré descendaient jusqu'à 0,0039 seulement ; la pâte formée de carbone presque pur (98 à 99 p. 100) avec très peu de cendres (0,20 à 0,50 p. 100 silice, alumine, oxyde de fer) et d'humidité.

Les mèches comprennent en général 80 à 85 p. 100 de carbone, 5 à 6 p. 100 d'eau et le reste en silicates ou borates. On avait espéré beaucoup il y a quelques années, des crayons de charbon graphités, suivant l'ingénieux procédé de MM. Girard et Street, qui réduit énormément

(1) L'effet fâcheux de la résistance n'est pas de perdre de l'énergie qui serait consommée sans cela par un rhéostat, mais de faire varier la tension disponible entre les pointes des crayons, comme on l'a dit plus haut.

(2) On a renoncé pour ces matières aux traitements par les acides, trop coûteux; et quant à l'anthracite en poudre ainsi traité, il ne donne que des charbons inférieurs.

la résistance électrique (jusqu'à 0,001) ; mais il a fallu reconnaître que la conductibilité calorifique est aussi accrue d'une manière fâcheuse, et que l'arc perd toute stabilité et se déplace constamment.

En dehors de la résistance électrique, dont on a signalé l'intérêt, le seul moyen de vérifier la qualité d'un échantillon est de le faire brûler, de mesurer l'usure et la production de poussière, de vérifier par des enregistreurs la régularité du régime et de déterminer le rendement photométrique comme on le verra ci-dessous.

Dans les lampes à courants alternatifs, on emploie généralement deux charbons égaux, tous deux très minéralisés, ce qui a permis d'abaisser beaucoup le voltage nécessaire, comme on l'a vu plus haut. Les fabricants Schiff, Jordan et Cie et Siemens frères sont arrivés, les premiers, à l'abaisser au-dessous de 25 volts. Mais les essais de l'auteur et de M. Jigouzo ont montré qu'on peut obtenir des rendements supérieurs en mettant en bas un charbon homogène.

Pour réduire l'usure du charbon supérieur, on emploie quelquefois avec succès des protecteurs ou économiseurs en matières réfractaires, entourant le charbon supérieur au voisinage de l'arc; système imaginé d'abord par Hardtmuth. Il est encore préférable, surtout avec l'arc alternatif, d'employer un réflecteur émaillé, dont le centre en matière réfractaire est percé pour le passage du charbon supérieur.

Utilisation de l'arc électrique. Réflecteurs et globes. — Les accessoires ajoutés aux lampes à arc pour mieux répartir ou diffuser la lumière ont été aussi l'objet de quelques perfectionnements. L'un des plus importants est l'addition du réflecteur dont on vient de parler.

Ce réflecteur, imaginé d'abord par Cörper, et employé aujourd'hui dans toutes les lampes à arc à courants alternatifs, a permis à celles-ci de lutter avec moins de désavantages contre les lampes à courant continu, et a réalisé à ce point de vue un grand progrès dans l'utilisation des courants alternatifs. Certaines maisons, telles que l'Allgemeine Elektricitaets Gesellschaft, l'adaptent même aux lampes à courant continu pour rejeter tout le flux lumineux vers le bas. L'effet désiré est obtenu avec une perte de lumière (8 à 10 p. 100) plus faible qu'avec n'importe quel réflecteur. L'accroissement de l'intensité moyenne hémisphérique atteint 10 p. 100 pour le courant continu et près de 50 p. 100 pour l'alternatif. Malheureusement, toute la lumière doit traverser un globe opalin entourant la lampe et subit là une grande absorption : celle-ci atteignait autrefois 50 à 60 p. 100, mais les progrès dans la fabrication des globes l'ont réduite à 15 ou 25 p. 100. Une autre méthode plus parfaite, qui concilie les exigences d'une grande diffusion avec la répartition de la lumière la plus favorable, est celle des globes holophanes, imaginés par l'auteur et Psaroudaki en 1893, après d'intéressants essais de Raffard et de Trotter, et qui depuis cette époque, ont reçu de grands perfectionnements entre les mains de la American holophane Glass C°, qui les fabrique en grand ; ces globes, à doubles cannelures prismatiques, dirigent la lumière, tout en l'étalant de façon à paraître uniformément brillants.

D'autres dispositifs ont été imaginés pour cacher à l'œil la vue de l'arc et diffuser la lumière par de grandes surfaces (diffuseurs Elster, Hrabowski, etc.). Le plus répandu et le plus intéressant est le dispositif de l'éclairage par le plafond au moyen de lampes à arc renversé, déjà exposé par Jaspar en 1881, puis longtemps délaissé. Depuis quelques années, on en fait un grand usage dans les ateliers, bureaux, salles de dessin, soit avec des lampes à mécanisme placé au-dessous de l'arc, ce qui est disgracieux, soit préférablement avec des lampes ordinaires à longues tiges; au lieu d'un plafond blanchi, on emploie souvent des toiles tendues au-dessus des lampes ou mieux encore de larges réflecteurs en tôle émaillée attachés au-dessus de celles-ci. Cette dernière solution est la plus élégante et peut-être la plus avantageuse façon d'utiliser l'arc pour l'éclairage intérieur.

Les lampes à charbons inclinés et arc dégagé vers le bas, proposées déjà autrefois par Rapieff, semblaient aujourd'hui abandonnées ; cependant cette solution vient d'être reprise par M. Bremer, avec une coloration analogue à celle de la lampe Soleil, et peut-être cette innovation lui vaudra-t-elle un succès comme celui que retrouvent l'arc enfermé et la lampe à filament de magnésie.

Photométrie des lampes à arc. — La définition photométrique des lampes à arc a donné lieu à

bien des confusions, car les auteurs ne considèrent pas moins de quatre intensités différentes : l'intensité horizontale, l'intensité maxima, l'intensité moyenne sphérique et l'intensité hémisphérique, sans compter souvent une intensité *nominale* qui n'a rien de commun avec la réalité. L'étude d'un type de lampe n'est complète que si l'on trace la courbe de répartition de la lumière dans un plan méridien. Le dispositif le plus commode pour ce genre de travail est celui du miroir à 45° monté sur un axe, imaginé autrefois par Hefner-Alteneck. L'auteur en a étendu l'emploi à l'étude des globes diffuseurs par l'emploi de très grands miroirs, et M. Wedding et M. Laporte l'ont utilement perfectionné par l'emploi simultané de deux miroirs symétriquement placés ; l'appareil du Laboratoire central de Paris, construit d'après ces principes, est un modèle digne d'être imité. Un autre perfectionnement intéressant et utile de cette méthode, appliqué en Amérique, notamment par M. Matthiews, est l'enregistrement des mesures photométriques au moyen d'un crayon qui se déplace sur un cylindre enregistreur placé sur le banc photométrique. On fait de cette manière tous les pointés nécessaires en un temps très court ; on fait ensuite à loisir le tracé de la courbe. Mais il suffit de faire la courbe dans certains cas typiques pour connaître *grosso modo* la loi relative de répartition, et ce tracé laborieux n'a pas de raison d'être pour des mesures de rendement lumineux ou d'intensité moyenne sphérique ; il donne d'ailleurs, en général, une précision tout à fait insuffisante par suite des variations incessantes de la position de l'arc ; pour remédier à ces inconvénients, l'auteur a imaginé, et la Maison Sautter-Harlé a réalisé, sous le nom de *lumenmètres*, divers appareils répondant aux divers cas de la pratique et qui donnent, en une seule lecture, la mesure du flux lumineux émis dans deux fuseaux opposés de la sphère (1). On obtient ainsi des mesures à la fois rapides et bien concordantes qui offrent infiniment plus de garantie que les méthodes usuelles : aussi l'emploi des lumenmètres devrait être prescrit pour toutes les études de rendement, afin qu'elles soient comparables.

Une autre cause très importante de la difficulté de comparer les résultats de plusieurs expérimentateurs différents réside dans l'insuffisance de définition du régime de l'arc. Il ne suffit pas en effet, pour qu'un arc soit défini, d'indiquer l'intensité du courant et la tension aux bornes de la lampe ; il faut spécifier le diamètre des crayons, la tension entre leurs pointes et, autant que possible, la longueur de l'arc entre celles-ci et le genre de mèche employé.

Il serait désirable que, dans tous les pays, les expérimentateurs fussent d'accord pour rédiger ainsi leurs résultats d'essais. On ne saurait trop insister en particulier sur la nécessité de mesurer le voltage non pas aux bornes de la lampe, mais entre les pointes des crayons pour éliminer les chutes de voltage très variables que produit la résistance des crayons. Enfin la différence des étalons de lumière employés par différents observateurs peut amener aussi de grandes inégalités dans leurs appréciations ; il serait donc utile d'établir un accord sur la teinte, l'étalon employé et l'intensité d'éclairement sous laquelle on opère. Comme l'auteur l'a montré dans son Rapport présenté au Congrès des Electriciens de Genève en 1896 et auquel il renvoie pour plus de détails, la cuve de M. Crova ou les artifices analogues ne donnent pas du tout une solution de ce problème si complexe de la photométrie hétérochrome, malheureusement peu connue de la plupart des expérimentateurs.

Rendement lumineux des lampes à arc. — Comme pour l'intensité lumineuse, il convient, pour éviter les confusions, de spécifier si le rendement est sphérique ou hémisphérique, c'est-à-dire s'il représente le quotient par la consommation en watts du flux lumineux total ou seulement du flux lumineux hémisphérique inférieur.

La consommation est du reste souvent encore rapportée, suivant l'usage prévalant, à l'intensité moyenne sphérique ou hémisphérique.

Il ne faut pas être exclusif dans la considération des valeurs sphérique ou hémisphérique, mais

(1) On rappellera à cette occasion que l'adoption par le Congrès de Genève, en 1896, d'une unité de flux dite *lumen*, a permis d'évaluer le flux total ou le flux hémisphérique inférieur des lampes à arc sous une forme concrète et pratique. Aussi l'usage s'est-il introduit, dans les contrats d'éclairage, notamment ceux de la ville de Paris, de spécifier les lampes à arc par le flux lumineux hémisphérique qu'elles envoient au-dessous de l'horizon.

les appliquer rationnellement suivant les cas ; pour l'éclairage des espaces découverts, la seconde est évidemment la seule intéressante, mais dans les intérieurs munis de plafonds blancs qui diffusent la lumière avec une très faible perte, c'est au contraire le rendement sphérique qui doit intervenir.

Le rendement lumineux de l'arc électrique dépend de trois éléments principaux : la force électromotrice disponible entre charbons, la longueur de l'arc et le diamètre des charbons qui influent sur l'enfouissement des cratères et l'occultation des rayons qu'ils émettent. Les deux premiers éléments dépendent directement de la qualité de la mèche et le dernier de la durée d'éclairage désirée, comparée à l'usure des charbons.

En dépit de nombreuses expériences et des travaux de Nakano, Nichols, Schreihage, Voit, Uppenborn, etc., on était jusqu'ici très imparfaitement renseigné sur l'influence de ces divers éléments. L'auteur, en collaboration avec M. Jigouzo, a cherché à combler cette lacune par une étude systématique de l'arc à courant continu et de l'arc à courants alternatifs au moyen du lumenmètre : les résultats nombreux, traduits en courbes, montrent que le rendement est accru par une réduction du diamètre des crayons, mais suivant une loi en général moins simple que celle de Schreihage ; qu'il croît avec la tension jusqu'à un certain maximum qui dépend de la densité de courant, puis décroît ensuite.

Ce maximum dans les essais a varié de 10 à 25 lumens ou de 0,8 à 2 bougies (Hefner) moyennes sphériques par watt pour le courant continu et de 5 à 17,5 lumens, ou 0,4 à 1,40 bougies (Hefner) sphériques pour le courant alternatif.

Dans une autre série d'essais, datant aussi de 1896 mais non encore publiés, les mêmes auteurs ont comparé les arcs continu et alternatif dans leurs conditions *pratiques* d'emploi et ont trouvé, en prenant comme crayons types les crayons Siemens appropriés à chaque lampe, les formules suivantes moyennes, en appelant I l'intensité moyenne sphérique en bougies Hefner, et W la puissance électrique en watts entre 300 et 1500 watts :

Courants continus . . . . . . $I = 1,75\,W$
Courants alternatifs . . . . . $I = 0,9\,W$.

On peut du reste améliorer ce dernier chiffre en accroissant le voltage. Ces résultats feront l'objet d'une Communication détaillée devant le Congrès. Ils montrent bien l'infériorité des courants alternatifs, déjà signalée par d'autres expérimentateurs, notamment Fleming et Pétavel. L'accroissement du rendement avec la puissance des lampes tient tout d'abord à l'accroissement de l'éclat intrinsèque signalé plus haut et, d'autre part, à l'accroissement de la densité de courant, admise plus grande dans les grandes lampes que dans les petites. Accessoirement il convient d'ajouter que l'énergie consommée dans le shunt du régulateur a une valeur relative décroissante quand la puissance consommée augmente.

Des études analogues exécutées, d'un autre côté et par d'autres méthodes, par M. Wedding, de 1897 à 1899, sur les arcs à courants alternatifs conduisent à des résultats assez concordants avec les précédents en ce qui concerne l'influence du diamètre et de la longueur de l'arc. Mais elles ont montré en outre l'influence du diamètre sur la forme de la courbe photométrique ; la direction d'intensité maxima se relève vers l'horizon, par suite de l'épanouissement des parties incandescentes hors des cratères, lorsque la densité du courant augmente ; en même temps, le rapport de l'intensité horizontale à l'intensité maxima croît d'environ 1/5 à environ 1/2, ce qui réduit dans une certaine mesure pour l'éclairage des espaces découverts les avantages du meilleur rendement. Le rendement lumineux hémisphérique pratique des lampes usuelles munies de réflecteurs avec leurs charbons normaux et leurs bobines en dérivation croît avec la puissance, très vite au-dessous de 200 watts, puissance au-dessous de laquelle on ne devrait jamais descendre, puis plus lentement. D'après les expériences faites avec un réflecteur du type connu, dans les limites usuelles, la puissance lumineuse hémisphérique I' est en fonction linéaire de la puissance électrique W

$$I'_{\text{hefners}} = 1,4\,W_{\text{watts}} - 102.$$

Si l'on tient compte de ce que le réflecteur augmente, en général, de 50 p. 100 l'intensité

moyenne sphérique, on voit que ces chiffres concordent assez bien avec ceux donnés ci-dessus pour l'intensité sphérique.

En comparant ces résultats à ceux de Voit et de Wedding pour les lampes à courants continus, on constate que la consommation par bougie Hefner d'intensité hémisphérique est d'environ 1,1 watt pour les lampes à courants alternatifs de 200 watts ou les lampes à courants continus de 60 watts, et de 0,68 watt pour les lampes alternatives de 1100 watts ou continues de 150 watts; entre ces limites, le rapport des consommations à puissance égale varie de 2 à 1,5 environ, c'est-à-dire que le rendement (hémisphérique) de la lampe à arc varie par rapport à celui de la lampe à courant continu de même puissance de 1/2 à 2/2 dans les conditions usuelles d'emploi. Cette différence est, en général, partiellement compensée, il est vrai, par la suppression du rhéostat de stabilité remplacé par une bobine de self-induction; mais elle apparait tout entière quand on emploie les lampes à courant continu par trois en série sans rhéostat.

En ce qui concerne ces lampes à bas voltage, elles doivent la plus grande partie de leur succès, comme on l'a dit plus haut, à l'emploi de *charbons spéciaux*, donnant des régimes très réguliers et qui sont simplement des charbons à mèche minéralisée très conductrice.

En augmentant la teneur saline de l'âme, on peut abaisser le voltage autant qu'on veut, mais il semble résulter de nos essais, déjà cités, que c'est généralement au détriment du rendement lumineux. Peut-être les charbons actuels sont-ils meilleurs que n'étaient à cette époque les charbons Siemens 23V; mais, en tout cas, on peut déclarer fausses *a priori* certaines mesures invoquées par les partisans de ces lampes et qui conduisent à attribuer à ces arcs des rendements *supérieurs* à ceux des arcs ordinaires avec crayons de même diamètre de bonne marque.

En attendant le résultat d'expériences plus précises et plus nombreuses, on se rapprochera sans doute bien davantage de la vérité en pensant, avec M. Gosselin, qu'à faible voltage, l'usure des charbons étant moindre à égale intensité de courant, les nouvelles lampes peuvent employer des crayons de moindre diamètre, qui compensent en partie (d'après notre étude, cette compensation serait insuffisante) la perte de rendement due aux mèches conductrices. Si l'on obtient ainsi l'égalité de rendement des lampes à haut et à bas voltage, l'emploi de ces dernières, qui transforment en lumière une plus grande fraction de l'énergie empruntée aux réseaux à 110 volts est évidemment avantageux toutes les fois que l'amélioration du rendement obtenue n'est pas rendue illusoire, d'une part, par l'accroissement du prix d'achat des lampes et surtout par l'accroissement des sections de canalisations nécessaires.

L'étude photométrique de l'arc enfermé a été faite également par plusieurs expérimentateurs. Dans ces lampes, alimentées sous une différence de potentiel entre crayons de 75 à 80 volts, les charbons s'usent droit, l'arc se déplace constamment et, dans chaque direction, l'intensité lumineuse varie incessamment, souvent du simple au double, mais le flux lumineux total varie un peu.

Le globe diffusant employé pour l'uniformiser en absorbe 30 à 40 p. 100 [1]. Aussi le rendement final est-il médiocre. D'après les essais de l'auteur et de M. E. Jigouzo, en 1897, sur une lampe Marks de 4,5 ampères avec charbons de 12 mm (usure 1,65 mm par heure), les consommations seraient de 1,17 watt environ par bougie ou 1,6 en tenant compte du rhéostat. Le rendement de l'arc enfermé est environ les 2/3 de celui d'une bonne lampe à arc libre de même puissance ou presque égal à celui de deux lampes de 4,5 ampères à l'air libre montées en série. Ces rapports s'abaissent à 0,50 et 0,70 si l'on emploie dans les arcs à l'air libre des crayons Siemens, marque A.

M. Wedding a trouvé pour la moyenne hémisphérique des consommations *moyennes* bien plus élevées, 2,90 watts par bougie pour une lampe Jandus de 3 ampères avec crayons de 10 mm et 2,81 pour une lampe de 4 ampères avec crayons de 13 mm (moyennes pendant une durée nor-

(1) Pendant la combustion, il se forme à l'intérieur de la capsule un dépôt pulvérulent jaune d'ocre, formé d'oxyde de fer et d'alumine ou de silice, qui réduit un peu l'intensité lumineuse, mais qui heureusement reste au-dessus du point lumineux pendant qu'il s'abaisse peu à peu.

male de fonctionnement), tandis qu'une lampe à arc libre de même consommation, avec un globe opale absorbant 30 p. 100, ne consomme, rhéostat compris, que 1,83 watt (soit un peu moins des 2/3), ou deux lampes en série de même puissance totale, 2,1 watts. MM. E. Gérard et de Bast ont trouvé de même 2,4 à 3 watts par bougie hémisphérique et de 2,9 à 3,7 par bougie sphérique pour une lampe de 4,5 ampères. L'arc enfermé ne serait donc pas plus économique qu'une lampe à incandescence.

Mais ces consommations sont certainement exagérées si on les compare aux chiffres précédents ; il semble même qu'en réduisant le diamètre des crayons, on puisse les abaisser beaucoup ; car avec des charbons de 8,5 mm (usure 1,8 mm au positif, 0,7 mm au négatif), MM. Friedman, Burrow et Rapaport trouvent pour l'intensité hémisphérique des consommations de 0,5, 0,6 watt par candle, suivant que l'ampoule est claire ou opaline, ou 0,69 et 0,82 en tenant compte du rhéostat.

On voit que l'arc enfermé à courant continu, bien que notablement inférieur à l'arc à l'air libre présente encore une notable supériorité sur la lampe à incandescence ordinaire, et que ses grands avantages pratiques cités plus haut peuvent le faire préférer dans bien des applications à l'arc à l'air libre ; aussi, aux États-Unis, où l'on se préoccupe beaucoup de simplifier la main-d'œuvre et d'économiser les charbons qui sont chers relativement à l'énergie, l'arc enfermé a-t-il rapidement pris le pas sur l'arc libre.

Il ne saurait en être de même de l'arc enfermé à courants alternatifs, car d'après des essais récents de MM. Matthiews, Thompson et Hilbish, son rendement est plus faible que celui des lampes à incandescence ordinaire ; la consommation atteint en effet 3 à 4,35 watts par bougie Hefner aux bornes de la lampe et 3,7 à 5,8 sur le réseau, au lieu de 2 pour l'arc enfermé à courant continu essayé comparativement.

(A suivre.)

RENDEMENT LUMINEUX DES LAMPES ELECTRIQUES A INCANDESCENCE A FILAMENT DE CARBONE (SYSTÈME PERMETTANT D'ACCROITRE CE RENDEMENT), par M. Gustave Weissmann,

Ingénieur des Constructions civiles, ancien Élève de l'École des Ponts et Chaussées.

Dans son remarquable Rapport sur les lampes électriques, mon éminent et excellent maître M. Blondel fait justement ressortir qu'en pratique, sur les secteurs, on ne peut guère abaisser au-dessous de 3,5 watts par bougie la consommation moyenne d'une lampe à incandescence à filament de carbone.

Il est à propos de rapprocher de cette moyenne la consommation spécifique de ces lampes à incandescence selon leur puissance lumineuse. Un article paru récemment, sous la signature de M. Delahaye, dans la *Revue pratique d'Electricité* du 20 mars 1900, mentionne sous le titre de *Recherches sur les lampes à incandescence électrique* quelques renseignements fort intéressants relativement à cette question.

Lorsqu'il a été question d'installer l'éclairage électrique à la Chambre des députés, à Paris, une commission d'électriciens et d'ingénieurs, faisant autorité en la matière, a été chargée de préparer un cahier des charges de l'entreprise. Après de laborieuses études poursuivies en 1894 et 1895, cette commission, composée de MM. Mascart, Potier, Bougarel, Hospitalier, Michel-Lévy, Monnier et Seligmann-Lui, a fixé la dépense d'énergie électrique des divers types de lampes destinées à prodiguer la lumière dans les recoins les plus secrets du Palais de nos représentants. Nous avons admis depuis lors, comme consommations-types :

100 watts	pour la lampe de	32	bougies
50	»	16	»
35	»	10	»
22	»	5	»

soit, en prenant les extrêmes, de 3,1 à 4,4 watts par bougie. Toutefois, par un sentiment de tolé-

rance, les auteurs du cahier des charges avaient eu le soin de spécifier que « toute lampe dont le pouvoir élairant par watt serait inférieur de 15 p. 100 au pouvoir éclairant spécifique, serait refusée », ce qui ramenait en réalité à 3,5 et 5 watts par bougie les limites pratiques extrêmes de consommation.

Ce rapport est fort adroitement tourné, car il donne une idée fort nette de la situation en matière de lampes à incandescence. Les fabricants annoncent bien des lampes de consommation inférieure à 3,5 watts, mais lorsqu'il s'agit d'une fourniture officielle ils réclament une tolérance de 15 p. 100 sur le pouvoir éclairant par watt, ce qui ramène en réalité, indirectement, toute consommation spécifique inférieure à 3,5 watts.

Il ressort de l'examen des chiffres ci-dessus :

1° Que la consommation moyenne pratique d'une lampe à incandescence ordinaire serait plutôt supérieure à 3,5 watts par bougie décimale ;

2° Que cette consommation spécifique croît dans des proportions très grandes quand le pouvoir éclairant de la lampe décroit.

Elle passe de 3,5 watts à 5 watts lorsqu'on passe de la lampe de 32 bougies 100 volts, par exemple, à celle de 5 bougies 100 volts, ce qui représente l'abaissement énorme de 40 p. 100 environ sur le rendement lumineux.

On doit déduire de cette seconde remarque que la lampe de 200 volts, malgré les espérances de quelques-uns, doit être condamnée *à priori*. Le filament de la lampe de 200 volts/16 bougies n'est, en effet, que la combinaison de deux filaments 100 volts/8 bougies, et la consommation spécifique de ceux-ci étant comprise entre 4 et 5 watts, on ne peut attendre de la lampe de 200 volts un rendement lumineux acceptable.

Des expériences personnelles m'ont permis de constater que sous diverses autres tensions que 100 volts, le rendement lumineux décroissait aussi avec le pouvoir éclairant de la lampe. Il faut donc conclure que sous une tension *quelconque* constante, le rendement lumineux décroît avec le pouvoir éclairant.

Il était rationnel de se demander à quelle cause on pouvait attribuer ces variations, et j'ai eu bientôt la conviction qu'elles ne pouvaient être dues qu'à la constance de la tension. Une lampe, forte intensité, de 50 bougies 100 volts, par exemple, dont le rendement est beaucoup meilleur que celui de lampes de 10 bougies, 100 volts, peut, en effet, être envisagée comme composée de 5 éléments représentant chacun le filament d'une lampe de 10 bougies, 20 volts. Or, ayant fait faire des lampes de 20 volts/10 bougies, j'ai constaté que leur rendement lumineux était effectivement supérieur à celui d'une lampe de 10 volts/10 bougies.

La nécessité de faire varier la tension m'était par là démontrée et à la suite d'autres et nombreux essais sur des lampes d'intensité lumineuse différente, je suis arrivé à mettre en évidence cet autre principe, savoir : que pour tirer le maximum de rendement des lampes à incandescence il fallait approprier la tension à ces lampes, selon leur intensité lumineuse respective et non, ainsi qu'on le fait à tort à ce jour, adapter tant bien que mal et tel quel, les lampes sur la tension de distribution.

L'étude à laquelle je me suis livré dans ce sens, depuis bientôt trois ans, m'a fait étudier tout spécialement les lampes de très basses tensions et m'a permis, en dehors des considérations ci-dessus, de reconnaître que ces lampes à filaments gros, 20 volts par exemple, étaient bien supérieures aux lampes à filaments fins usitées généralement. On verra plus loin quelles faibles consommations spécifiques on peut atteindre avec ces lampes. Elles sont très économiques et ont certaines propriétés qui les font très favorablement apprécier par les intéressés, notamment celles de donner une lumière d'un éclat et d'une blancheur remarquables et aussi une lumière qui se maintient blanche jusqu'à la mort de la lampe.

Bien des arguments peuvent encore être trouvés en faveur de ces lampes à basses tensions.

Les filaments gros, dit M. Blondel dans son rapport, grâce à leur solidité mécanique et à leur revêtement épais de graphite, peuvent supporter une température plus élevée et leur masse fait un volant de chaleur qui réduit les effets des variations de voltages.

M. Blondel relate aussi : 1° que, d'après le professeur Weber, qui a fait une savante théorie de l'incandescence, la température atteint, dans les lampes à incandescence, de 1565° à 1588° et atteint 40° p. 100 de plus pour les lampes à gros filament. Or, on sait combien croît vite le rendement lumineux avec la température.

2° Que l'éclat intrinsèque à température donnée croît avec le diamètre du filament.

Des différences notables existent encore entre les filaments gros et les filaments fins.

« Pour les filaments fins, l'éclat va en diminuant du centre au bord du filament. Pour les gros filaments, au contraire, dont le diamètre dépasse beaucoup l'épaisseur limite de rayonnement du carbone, la diminution de l'éclat ne se produit que très près des bords. »

Toutes ces propriétés caractéristiques des lampes à gros filaments, ces différences qu'elles présentent comparativement aux lampes ordinaires, propriétés et différences pleinement confirmées par l'expérience, portent à conclure que les lampes à gros filaments de basses tensions sont des lampes tout à fait spéciales, et qu'il serait désirable qu'une classification soit faite entre ces toutes lampes qui, tout en étant de même essence, présentent des propriétés aussi différentes.

Par un choix judicieux de l'épaisseur des filaments selon les cas, on peut très certainement obtenir des rendements lumineux incomparablement meilleurs que ceux forcément acceptés aujourd'hui. Mais un tel choix des filaments est rendu impossible par la nature même de nos systèmes de distribution. On s'est, en effet, arrêté à la tension de 100 volts pour les besoins de la canalisation et cette tension qui n'a même pas l'avantage de satisfaire actuellement les sociétés exploitantes, puisque celles-ci cherchent à la doubler, a par contre le regrettable désavantage de paralyser complètement l'amélioration des lampes.

C'est à la nature de nos systèmes de distribution actuels que nous devons de ne pouvoir, depuis de si longues années, enregistrer aucun progrès sur le rendement lumineux des lampes à incandescence à filament de carbone.

La tension de 100 volts est une tension critique pour la fabrication des lampes.

A 100 volts déjà certaines lampes, celles de très faible pouvoir éclairant, sont irréalisables ; à 200 volts ce sont les lampes les plus courantes qui ne peuvent être obtenues convenables.

Aux tensions inférieures à 100 volts, au contraire, toutes les lampes de tel pouvoir éclairant désirable deviennent faciles à établir, et je tiens à votre disposition, comme preuves, des lampes de deux bougies et une bougie même, qui peuvent l'emporter comme rendement lumineux sur celles de seize bougies.

Me basant sur toutes ces considérations que je viens de parler, j'ai remarqué, ainsi que le signale M. Blondel, j'ajoute avec sa savante et précieuse collaboration, un système nouveau de distribution et d'utilisation des courants électriques pour l'éclairage qui me paraît concilier les *desiderata* de sens opposés des secteurs et des consommateurs.

J'ai obtenu déjà les meilleurs résultats et le succès que j'obtiens auprès du public à l'Exposition m'augure quelques importantes et intéressantes applications pour cet hiver, c'est-à-dire l'entrée très prochaine dans le domaine de l'exploitation.

Ce système extrêmement simple d'application consiste à placer chez le consommateur entre chaque groupe de lampes et l'interrupteur qui le commande un tout petit transformateur à circuit magnétique fermé qui abaisse la tension du courant distribué au degré voulu pour ce groupe de lampes. L'interrupteur est sur le primaire du transformateur de telle sorte que le transformateur fonctionne automatiquement avec la lampe, ne travaille jamais à vide et toujours à pleine charge. Le rendement de ces petits transformateurs varie de 85 p. 100 pour le type d'une seule lampe à 96 p. 100 pour un groupe de cinq lampes, le rendement moyen de la transformation pour une installation complète peut être évalué en raison des divers groupages de lampes à 92 à 93 p. 100.

Ces petits transformateurs sont d'un volume tellement réduit qu'ils peuvent être dissimulés avec la plus grande facilité, soit sous le pied d'une lampe de bureau, soit dans le pavillon d'un lustre ou sur tout emplacement quelconque d'un mur. Leur prix de revient est si minime, qu'ils peuvent être distribués à profusion dans l'installation la plus modeste.

Les lampes que j'emploie sont du type de 20 volts et au-dessous. Elles sont de toutes les intensités lumineuses, depuis une bougie jusqu'à plusieurs centaines de bougies.

Mon excellent maître, M. Blondel, a probablement cru, en raison de certains résultats obtenus tout récemment, *hors ma présence*, sur quelques-unes de mes lampes, devoir être réservé dans son rapport quant aux chiffres de consommation et de baisse de lumière de mes lampes. Les chiffres qu'il indique ne peuvent se rapporter qu'à des types anciens de ces lampes. Celles que j'applique depuis plusieurs mois déjà accusent des rendements bien supérieurs à ceux ainsi signalés.

Mes derniers résultats obtenus ont été pour une lampe de 22/16 bougies les suivants :

			watts.	
16 bougies 5	au départ	avec une consommation de	1,67	par bougie
15 » 5	après cent heures	» »	1,77	»
14 » »	» deux cents »	» »	1,93	»

Soit une consommation spécifique de 1,79 watt à 2,07 watts transformation comprise de zéro à deux cents heures de durée avec une baisse de lumière de 6 p. 100 après cent heures et 15 p. 100 après deux cents heures.

Il me serait facile d'indiquer quantité d'autres résultats se rapprochant de ceux-ci. Ceux que je viens d'indiquer ont l'avantage de se rapporter à une lampe qui fonctionne encore actuellement sur le Secteur de la rive gauche de l'Exposition et qui peut être vérifiée par les intéressés dans mon stand.

Ainsi qu'on peut en juger par ces quelques chiffres cités à titre d'exemple, le système que j'ai imaginé, en collaboration de M. Blondel, permet d'accroître considérablement le rendement lumineuse pratique des lampes à incandescence.

La consommation spécifique des lampes de très basses tensions dont il permet l'emploi est en effet environ moitié moindre que celle des lampes à filaments fins.

Il convient de faire remarquer que l'application de ce système ne nécessite aucun changement dans les canalisations intérieures, que les lampes qu'il comporte coûtent sensiblement le même prix que les lampes ordinaires.

J'ajoute que sur les lampes ordinaires fonctionnant sur le secteur j'ai constaté que celles-ci devaient être changées toutes les 300 heures à 400 heures au maximum. Ces lampes, en raison de la finesse de leurs filaments, sont, en effet, très sensibles aux fluctuations du courant, et comme ces fluctuations atteignent jusqu'à 10 p. 100 et au delà, la baisse de lumière que l'on constate après 300 heures est au moins de 15 p. 100.

Les valeurs relatives pratiques des consommations totales atteintes par exemple pour une lampe de 16 bougies après 400 heures de fonctionnement, peuvent être évaluées comme suit :

Pour une lampe de 100 volts, 16 bougies, à raison de 3,5 watts par bougie et à 0 fr. 10 l'hectowatt-heure.

	fr
56 × 4 × 0,10	22,40
Prix d'une lampe.	0,50
Total.	22,90

Pour une lampe de 22 volts, 16 bougies, transformation comprise :

	fr
28,8 × 4 × 0,10	11,52
Prix de deux lampes.	1,00
Total.	12,52

On économise donc par mon système, renouvellement de lampes et transformateur compris, 10,38 fr sur 22,90 fr, soit 45 p. 100 environ. Cette économie peut être augmentée un peu en se contentant par exemple d'une durée moindre pour la lampe et en la faisant marcher à un régime plus économique encore, c'est ce qui m'a fait annoncer à l'Exposition 50 p. 100 d'économie sur les systèmes d'éclairage électrique existants.

D'autres grandes applications non moins importantes sont aussi possibles avec ce système.

Il offre notamment pour la canalisation à 200 volts au lieu de 100 une solution inattendue. Il permet en effet d'amener le courant chez l'abonné sous cette tension double de la tension ordinaire, en évitant la lampe de 200 volts et en procurant au contraire à l'abonné l'avantage d'une économie considérable de consommation.

Enfin, ce système crée à l'éclairage même un essor tout nouveau en permettant, par l'emploi des lampes de 2 et 1 bougie, la diffusion pratique de la lumière électrique et des effets décoratifs des plus variés irréalisables par les procédés ordinaires.

Conclusions. — S'il n'a pu être réalisé à ce jour aucun progrès relativement au rendement lumineux des lampes à incandescence à filament de carbone, cela ne tient uniquement qu'à la nature de nos systèmes de distribution d'énergie.

Pour accroître le rendement lumineux, la tension doit être abaissée bien au-dessous de 100 volts (de façon à permettre l'emploi de lampes à gros filaments) et être appropriée au pouvoir éclairant respectif des lampes.

Mais ces conditions essentielles dont dépend le rendement sont en opposition absolue avec celles exigées par les besoins de la canalisation. Il conviendrait donc d'appliquer mon système nouveau qui rendrait — si je puis m'exprimer ainsi — les lampes indépendantes de la canalisation. Avec un tel système, on pourrait à la fois abaisser *ad libitum* la tension pour les lampes et rehausser la tension dans les câbles. Un système de ce genre est celui que j'ai imaginé en collaboration de mon éminent maître M. Blondel et que j'ai décrit plus haut. Il est conçu dans une voie nouvelle, donne des résultats pratiques très importants, est déjà favorablement agréé par le public et mérite à ce titre d'être pris en sérieuse considération.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

ACADÉMIE DES SCIENCES

Séance du 6 août 1900.

Sur les points d'ébullition du zinc et du calcium, par **Daniel Berthelot.** *Comptes rendus*, t. CXXXI, p. 380-382.

Ces points d'ébullition étant souvent utilisés en pyrométrie électrique, il nous paraît utile d'indiquer les valeurs obtenues par l'auteur au moyen de sa méthode interférentielle de mesure des températures. Ce sont :

Pour le zinc : 924°, 913°, 914° et 922° avec un échantillon et 927 avec un autre échantillon ; la moyenne de ces cinq déterminations est de 920°.

Pour le cadmium : 778°, moyenne de trois expériences concordantes dont les résultats différeraient entre eux de moins de 8°.

Le Gérant : C. NAUD

Tome XXIV. **Samedi 8 Septembre 1900.** **7e Année. — N° 36**

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

RÉSISTANCE DES TRAINS A LA TRACTION [1]

III. — EXPÉRIENCES DE M. MAC-MAHON SUR LES LOCOMOTIVES ÉLECTRIQUES [2]

Les expériences de M. Mac-Mahon, qui sont certainement les plus complètes, les plus intéressantes qui aient été faites sur la matière pendant ces derniers temps. Malheureusement, ces expériences très nettes, et d'une très grande valeur en elles-mêmes, n'ont pas une portée aussi générale qu'il eût été désirable. M. Mac-Mahon a effectué ses expériences sur les locomotives du South London and City Railway [3] : il a déterminé la nature des pertes diverses constatées dans la locomotive, au démarrage ou en vitesse. La résistance totale à la traction offerte par le train a aussi fait l'objet d'une étude complète ; malheureusement le train circulait en tunnel, et épousait de très près les contours de la voûte. La résistance de l'air jouait donc un rôle tout particulier, dans ces expériences : celles-ci ne pourront donc nous apprendre que peu de chose sur la valeur de la résistance en parcours libre. M. Mac-Mahon a peut-être été moins heureux, dans l'interprétation qu'il a donnée de ses expériences, et surtout dans les corrections qu'il a cru devoir apporter à ses résultats, mesure des efforts exercés par les locomotives, et détermination de l'influence des courants de démarrage, sur l'accélération prise par le train.

Les efforts furent mesurés au dynamomètre [4]. Trois types d'appareils furent employés : 1° un dynamomètre à chambre d'acier contenant de l'eau en relation avec un manomètre. On attelait ce dynamomètre, d'une part à la locomotive, de l'autre à un point fixe ; 2° un appareil

---

(1) Voir *L'Éclairage Électrique* du 21 juillet 1900, p. 97.

(2) *Journal of the Institution of Electrical Engineers*, vol. XXVIII, n° 141, 4 mai 1899.

(3) Voir la description de ces locomotives dans *Journal of the Institution of Electrical Engineers, loc. cit.*

(4) Voir *Journal of the Institution of Electrical Engineers.*

de forme plus ramassée qu'on installait sur la barre d'attelage d'une voiture de remorque 3° un dynamomètre de forme à peu près identique, qu'on disposait sur la barre d'attelage de la locomotive. Le premier dynamomètre, muni de cuir embouti, ne convenait guère qu'aux pressions très élevées, par suite de l'énorme friction développée dans l'appareil. Les deux autres étaient employés pour les pressions plus basses : chacun de ces appareils a été soigneusement étalonné, par l'observation simultanée des pressions au manomètre et de l'effort effectif de traction exercé.

Le train comprenait, outre la locomotive, d'un poids moyen de 12 tonnes, trois voitures pesant en charge et ensemble 21,5 tonnes. Le poids total du train était donc de 33,5 tonnes.

M. Mac-Mahon divisait la durée du parcours compris entre deux gares en deux périodes : celle de démarrage et celle de marche normale : celle-ci comprise depuis l'instant où le train avait acquis sa vitesse, jusqu'au moment de la rupture du courant et du serrage des freins. La locomotive démarrait sous des courants de 100, 120, 140, 160, 180 ampères maintenus fixes jusqu'à ce que la force contre-électromotrice du moteur fit décroître l'intensité. On peut remarquer à ce propos que la plus haute valeur instantanée du courant ne correspond pas au démarrage le plus bref, car la brusque élévation de la force contre-électromotrice du moteur empêche le maintien de la fixité du courant jusqu'à l'obtention de la vitesse normale.

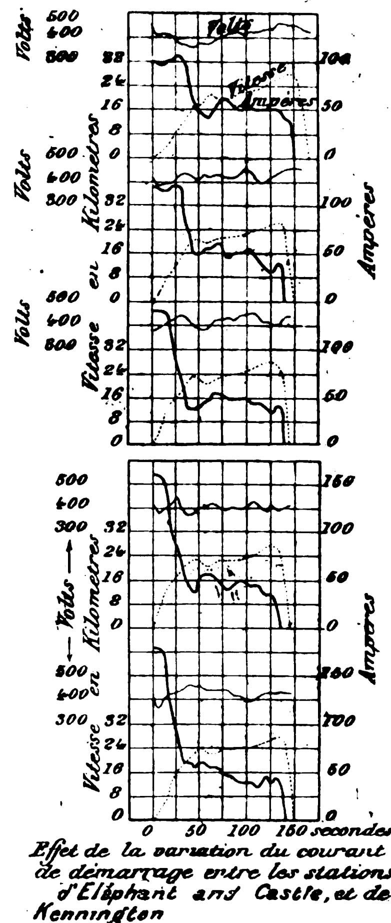
Signalons en passant que pour des sections de la ligne, en palier, de 780 à 800 m, une moitié à peu près de l'énergie dépensée était consommée dans le démarrage ; et cela, quelque fut le courant fixe sous lequel on s'astreignait à démarrer. Le tableau I, emprunté au travail de M. Mac-Mahon, nous donne les résultats obtenus dans la section Borough à Elephant-and-Castle ainsi que dans la section Elephant-and-Castle à Kennington. Les courbes de la figure 3 nous montrent les effets divers obtenus sur cette dernière section avec des courants de démarrage différents.

Tableau II

	Borough a Eléphant-and-Castle					Elephant-and-Castle a Kennington				
Courants de démarrage en ampères	100	120	140	160	180	100	120	140	160	180
Kilomètres par heure au démarrage	25,75	25,75	26,50	26,50	27,35	21,00	22,60	23,40	22,60	23,80
Temps employé pour atteindre la pleine vitesse en secondes	40	35	30	35	35	60	50	45	40	45
Période de marche à pleine vitesse en secondes	80	80	85	80	75	85	85	85	90	85
Temps total où a passé le courant en secondes. Temps employé	120	115	115	115	110	145	135	130	130	130
Vitesse moyenne (période de pleine vitesse)	25,12	24,15	25.58	25,45	25,26	23,68	24,55	24,37	25.18	24,37
Valeur moyenne du courant	41,4	46,4	47,6	42,1	39,0	50,7	47,4	47	44,7	46,4
» du voltage	428	425	440	423	415	426	426	429	430	432
» du courant au démarrage	81,0	87,4	95,6	92,8	100,0	84,4	101,2	102,5	107,8	113,5
Période de démarrage watts consommés	34,500	37,200	40,750	39,550	42,640	35,250	43,200	43.750	46,000	48,200
Watts-heure consommés dans cette période	383,3	333,4	339,5	384,5	414,5	587,5	600,0	547,0	511,0	602,0
Watts consommés à pleine vitesse	17.650	19,750	20,220	17,940	16,600	21,680	20,290	20,100	19,150	19.860
Watts-heure consommés à pleine vitesse	392,2	438,2	478,0	397,0	356,0	512.0	479.0	474,0	479,0	469,0
Temps en secondes nécessaire pour atteindre la vitesse de 17,6 kmt	26,0	22,0	17,5	17,0	15,0	48,0	37,0	30,0	27,0	27,5
Temps en secondes nécessaire pour atteindre la vitesse de 14,4 km	23,5	18.75	16,0	15	13,0	40,0	30,0	21,5	18,5	20,0

Pertes dans les locomotives. — Les anomalies rencontrées dans les effets dûs aux courants de démarrage ont amené M. Mac-Mahon a chercher à dissocier le plus nettement possible les pertes d'énergie dont les locomotives sont le siège, et les différentes valeurs des efforts exercés par ces machines soit à la barre d'attelage, soit à l'essieu moteur. Les valeurs de ces éléments, trouvées pour une locomotive en marche, sont tout à fait différentes de celles relatives à un motenr fixe. Les locomotives étant équipées avec des moteurs sans réduction, nous n'aurons pas à tenir compte de frottements spéciaux aux engrenages.

En réalité, l'effort total exercé à la jante des roues, en marche, se décompose en trois parties : 1° effort nécessaire à la remorque des voitures du train ; 2° effort nécessaire à la remorque de la locomotive elle-même, considérée comme poids mort ; 3° pertes dans le régulateur de la locomotive, pertes provenant de la résistance de l'air, etc., et qui, en toute justice, doivent être réparties sur l'ensemble du train quand on calcule les efforts nécessaires par tonne. Contentons-nous de distinguer pour l'instant, avec M. Mac-Mahon l'effort à la jante des roues, et l'effort horizontal à la barre d'attelage, égal au précédent diminué des efforts nécessaires à vaincre les résistances données sous les numéros 2 et 3.



Effet de la variation du courant de démarrage entre les stations d'Eléphant and Castle, et de Kennington

Fig. 3.

L'expérience montre que l'effort de traction effectif, exercé à la barre d'attelage, n'est guère au démarrage, que les 0,73 de l'effort de traction horizontale développé à la jante de la roue. M. Mac-Mahon a d'abord mesuré au frein de Prony, suivant le mode ordinaire, les efforts exercés par le moteur, avec le poids de l'armature et des roues reposant sur les coussinets. Des quatre courbes représentées en traits pleins sur la figure 4, la courbe A donne les résultats de ces essais au frein. B figure les résultats de la mesure, au dynamomètre, des efforts de traction exercés entre un point fixe et la barre d'attelage.

Un courant de 50 ampères était nécessaire pour obtenir le démarrage de la locomotive seule, après désaccouplement. La courbe C a été obtenue en essayant le moteur au frein de Prony, mais de manière à ne laisser effectuer à l'armature que la faible portion de tour correspondant à l'élongation du ressort de la balance (fig. 5). M. Mac Mahon pensait ainsi réaliser des conditions analogues à celles réalisées avec un train partant du repos. La courbe D représente enfin l'effort donné par la courbe C diminuée de la perte complémentaire due au poids des électro-aimants inducteurs reposant sur les coussinets : le moteur avait été, dans ce dernier cas encore, essayé au frein de Prony, mais il avait été maintenu vertical, suivant le mode représenté figure 6.

Pour une intensité de 150 ampères, on constate, d'après la figure 4, une différence entre les courbes A et C de 54,500 kg; de même on remarque entre les ordonnées de A et de B, c'est-à-dire entre les efforts de traction mesurés à la jante de la roue et à la barre d'attelage, une différence de 320 kg en faveur des premières. Cette différence est attribuable au frottement des coussinets, beaucoup plus grand au démarrage qu'en cours de marche.

L'effort de traction à la barre d'attelage n'est donc au démarrage qu'une faible fraction de l'effort total exercé à la jante de la roue. Si l'effort de traction à la barre d'attelage n'était pas, pour une même valeur du courant, plus grand en cours de marche qu'au démarrage, comme il est facile de le voir, cet effort serait en général insuffisant pour vaincre le seul effet de la pesanteur sur une section donnée de la ligne. En réalité l'effort exercé en vitesse peut être beaucoup plus grand qu'au démarrage. Ces résultats sont assez en désaccord avec les hypothèses faites en général pour l'établissement des formules donnant la résistance des trains.

Les procédés employés par M. Mac-Mahon ne sont pas à l'abri de toute critique. Il a comparé l'effort de traction obtenu à la barre d'attelage, au moyen d'un dynamomètre, à

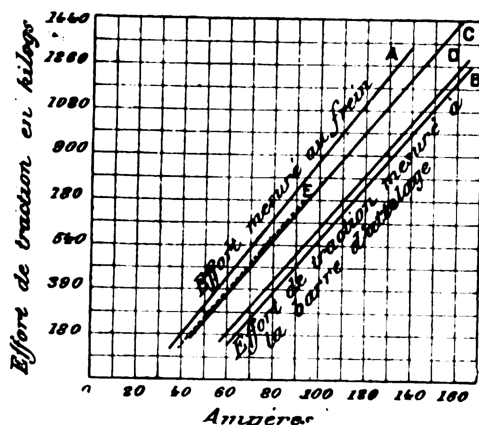


Fig. 4. — Courbes des résultats obtenus par M. Mac-Mahon.

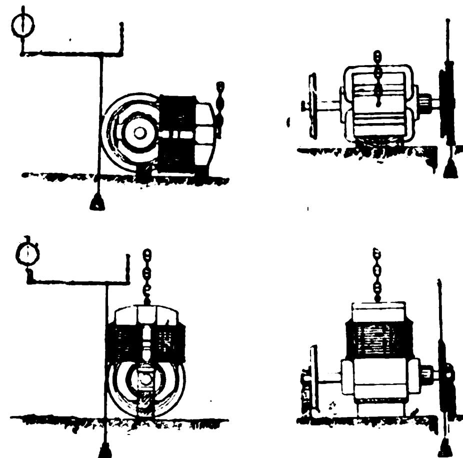


Fig. 5 et 6. — Dispositifs pour l'essai de moteurs.

l'effort de traction mesuré au frein de Prony : entre ces deux valeurs, il y a une différence de 30 ou 40 p. 100 que M. Mac-Mahon appelle des pertes : il ne semble pas que ce terme soit exact.

M. Mac-Mahon essaie le moteur avec le poids des électro-aimants reposant sur les coussinets, et il croit pouvoir tenir compte, par une seule hypothèse de proportionnalité, du poids de la locomotive entière, celle-ci étant supposée marcher dans des conditions normales ; M. Mac-Mahon explique ainsi la différence entre les valeurs qu'il a observées, dans le cas d'expériences purement statiques, et celles obtenues avec une locomotive remorquant une forte charge, et exerçant par suite un effort de traction effectif à la barre d'attelage, reliée d'autre part à un point fixe et à une balance à ressort. Cette explication ne paraît pas satisfaisante. Il semble que M. Mac Mahon mesure réellement l'effort statique effectif exercé par le moteur, et en outre, que ce qu'il observe par la lecture de la balance à ressort, il l'a déjà obtenu comme résistance extérieure à la rotation du moteur, sous forme de pressions exercées sur l'essieu et par suite, de résistance de frottement.

La méthode de mesure au dynamomètre adoptée par M. Mac-Mahon prêterait de même le flanc à bien des critiques, mais l'expérimentateur anglais a su, par une admirable persévérance, en tirer des résultats très acceptables.

A propos des expériences précédentes, M. Mac-Mahon semble trouver étrange que la différence entre les efforts de traction à la jante de la roue, et à la barre d'attelage, ne soit pas proportionnelle au poids de la locomotive ou à quelque facteur où figurerait ce poids.

Cette différence est seulement proportionnelle à l'effort de traction total comme on s'en convainc en divisant celui-ci par le chiffre de la *perte*. On trouve sensiblement une constante. Ce fait n'a, croyons-nous, rien d'étonnant. La puissance disparue, ou la *perte*, sert, il est vrai, à remorquer la locomotive, mais aussi à vaincre les résistances générales entraînées par la marche du train (pertes ohmiques, résistance de l'air, etc...)

Les essais ultérieurs, tentés par M. Mac-Mahon, pour analyser plus complètement la nature des pertes, ne furent pas couronnés de succès. On put cependant constater un phénomène curieux (et l'emploi du dynamomètre en était peut-être bien la cause) : la locomotive mettait un temps très appréciable pour s'ébranler.

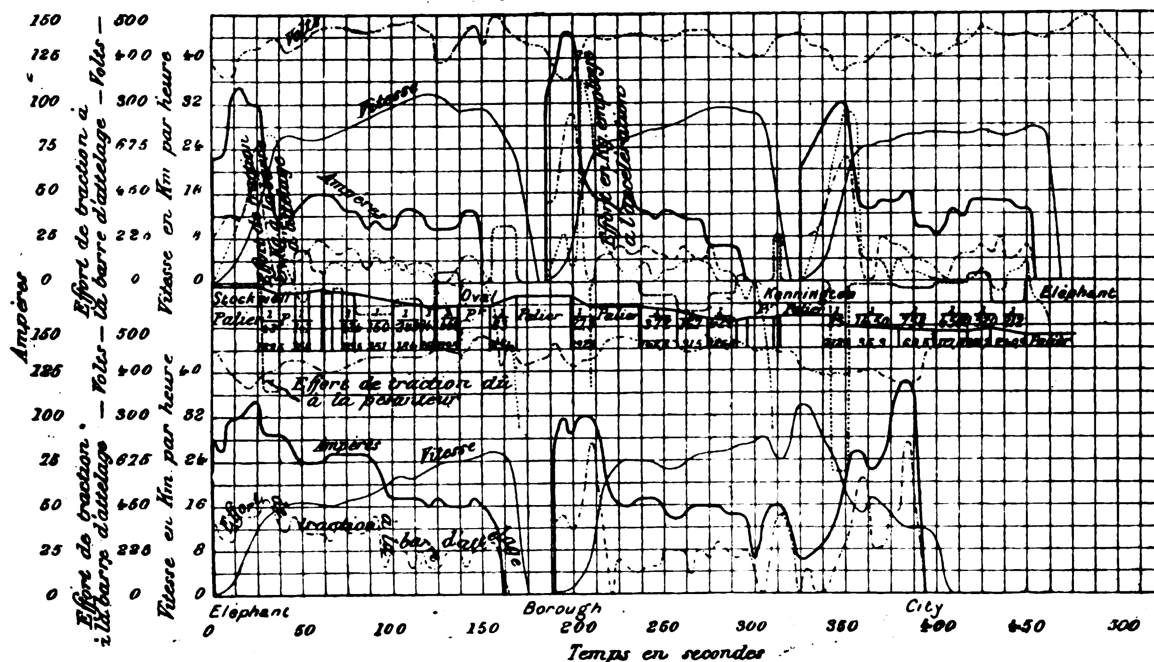


Fig. 7. — Résultats des mesures en cours de marche.

Aucun effort de traction n'était perceptible au dynamomètre, monté sur la barre d'attelage de la locomotive, pendant les deux ou trois secondes qui suivaient la fermeture du courant. De plus, en cours de démarrage, le manomètre donnait des indications variant absolument dans toute l'échelle : le courant restait pourtant absolument stationnaire. En palier et en pente, notamment, l'effort semblait se transmettre de la locomotive au train par une série de secousses. En rampe, l'effort exercé paraissait beaucoup plus régulier.

Mesure de l'effort de traction en cours de marche.— On peut voir d'après la figure 7 que la courbe de l'effort de traction mesuré au dynamomètre en cours de marche possède très sensiblement la même forme que celle du courant. Les courbes 8 et 9 représentent une autre série de mesures, également faites au dynamomètre ; ces courbes sont très intéressantes : elles suffisent à nous donner l'effort de traction en fonction du courant. En réalité, les lignes ne sont pas en palier, et l'effet de la gravité s'introduit dans les valeurs trouvées. Connaissant le profil en long de la ligne, nous pouvons corriger l'effort de traction effectif, mesuré à la barre d'attelage, de la partie, positive ou négative, dûe à la gravité. On connaîtrait de même force la fraction de l'effort, soit positive, soit négative, due

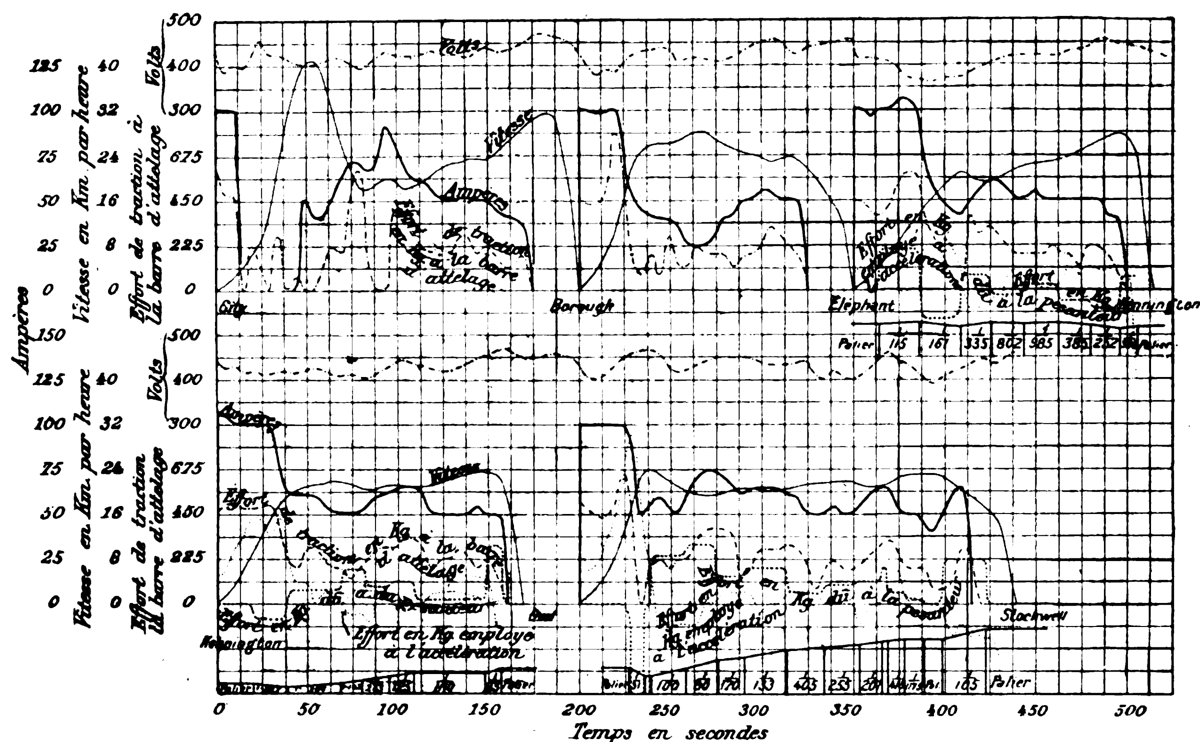


Fig. 8. — Résultats de mesures en cours de marche.

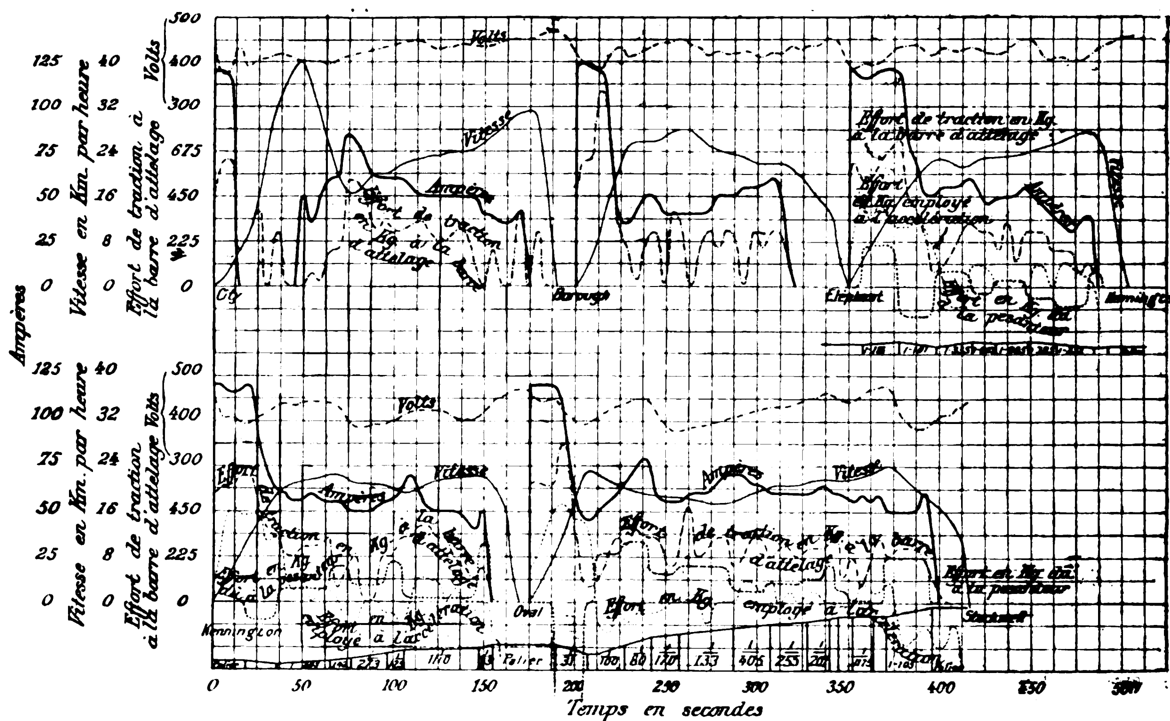


Fig. 9. — Résultats de mesures en cours de marche.

à l'accélération en multipliant la valeur de l'accélération tirée de la courbe des vitesses, par la masse de la locomotive.

En partant de ces courbes, on peut obtenir les pertes dont la locomotive est le siège, l'effort de traction exercé à la barre d'attelage, en démarrage et en cours de route, aussi bien que l'effort de traction par tonne de train en palier, en comprenant dans cette valeur la résistance de l'air.

Les tableaux suivants résument les résultats obtenus, relativement à la section du par-

TABLEAU III

COURANT en ampères	EFFORT DE traction à la barre d'attelage en kilogs	EFFORT DE TRACTION dû à l'accélération diminué ou augmenté de l'effet de la pesanteur en kgs	EFFORT DE TRACTION à la barre d'attelage en kgs (ramené en palier et à vitesse constante)	TEMPS COMPRIS depuis la fermeture du courant en secondes	VITESSE de la locomotive en kilomètres par heure	
105	628.4	0	608.30	0	0	Train partant de la station de Kennington
105	488.0	91.25	579.30	5	1,20	
100	488.0	156.63	645,60	10	3,20	
100	476.7	189,31	666.02	15	5,60	
100	476.7	247.88	724,58	20	8,80	
100	476.7	247.88	724.58	25	12,00	
99	499.4	143.46	642,86	30	14,40	
100	149	0	553,50	0	0	Train partant de la station d'Elephant and Castle
100	438,75	72.90	511,65	5	0.8	
95	393,75	90,45	484,20	10	2,02	
100	369	192,40	581,40	15	3,62	
100	405	265,50	670,50	20	5,60	
105	517,50	265,50	783	25	7,60	
100	537,75	298,80	872,55	30	10,00	
100	537.75	265,50	839,25	35	11,80	

TABLEAU IV

COURANT en ampères	EFFORT DE traction à la barre d'attelage en kgs	EFFORT DE TRACTION dû à l'accélération diminué ou augmenté de l'effet de la pesanteur en kgs	EFFORT DE TRACTION à la barre d'attelage ramené en palier et vitesse constante en kgs	TEMPS COMPRIS depuis la fermeture du courant sur les moteurs de la locomotive	VITESSE de la locomotive en kilomètres par heure	
120	765		765	0	0	Train partant de la station d'Elephant and Castle
120	537.75	155,70	729.45	5	1,6	
115	537,75	265,50	839,25	10	4,8	
115	663.75	246,15	909.90	15	8,0	
120	663,75	246,15	909,90	20	11,20	
120	765		765	0	0	Train partant de la station de Kennington
120	616,50	110,25	726,75	5	1,44	
115	517,50	285,30	802,80	10	4.40	
115	517,50	311,40	828,90	15	6,88	
120	618,75	392,20	969,05	20	9.92	
120	675	311,40	986,40	25	11,28	
120	720	330.30	1050,30	30	14,40	

cours Elephant and Castle-Kennington. Les courbes des figures 10 et 11, nous donnent de même les vitesses et les efforts de traction en fonction du temps employé.

Le mode de calcul adopté par M. Mac-Mahon ne semble cependant pas exact. L'effort de traction a été mesuré à la barre d'attelage. On a vu comment était obtenu l'effort dû à la gravité; de même pour l'effort complémentaire entraîné par l'accélération. M. Mac-Mahon ajoute : « comme cette dernière force n'apparaît pas à la barre d'attelage, mais est donnée à la jante de la roue, il en résulte qu'il faut ajouter cette quantité à l'effort mesuré à la barre d'attelage. » Cette assertion semble inexacte : si la locomotive imprime au train une accélération positive ou négative, l'effort exercé doit se retrouver à la barre d'attelage (fig. 13 et 14), ce que nous n'y retrouvons pas, c'est seulement l'effort employé par la locomotive pour

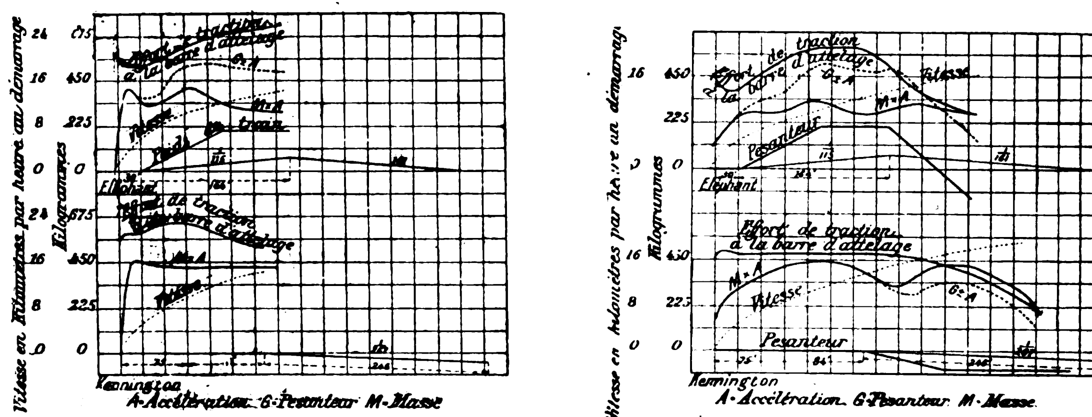


Fig. 10 et 11. — Courbes des vitesses et de l'effort de traction en fonction du temps.

accélérer sa propre vitesse. Les courbes de la figure 8 ont été obtenues dans l'hypothèse précédente, de même pour les tableaux III et IV où les valeurs de l'effort de traction observé à la barre d'attelage sont corrigées des quantités relatives à la gravité et à l'accélération. Dans les tableaux cités nous devrions donc faire subir aux chiffres de M. Mac-Mahon, rapportés dans la colonne « effort de traction à la barre d'attelage à vitesse constante et en palier », la correction d'une partie de l'effort dû à l'accélération et relative au poids du train seul. En effet, l'effort de traction mesuré à la barre d'attelage doit comprendre à chaque instant la fraction de l'effort total nécessaire pour communiquer une accélération positive ou négative au train proprement dit. L'effort de traction, à vitesse constante en palier, donné par M. Mac-Mahon, est donc plus élevé que la valeur réelle de cet effort de traction [1].

[1] Le mode de calcul adopté par M. Mac-Mahon appelle quelques observations. Remarquons qu'il est très aisé d'obtenir diverses vitesses avec le même courant dans une armature donnée : il suffit de faire usage d'accélérations différentes, dues à une combinaison appropriée des accidents du terrain avec le couple électro-magnétique constant produit par un courant constant. Les *pertes* dans la locomotive sont, dans le travail de M. Mac-Mahon, données en retranchant l'effort de traction à la barre d'attelage, de l'effort donné par le couple électromagnétique de l'armature. C'est donc une conséquence de l'équation même posée par M. Mac-Mahon, que l'accroissement d'un terme contrebalance la décroissance de l'autre. On peut obtenir diverses vitesses avec la même armature et le même couple électromagnétique; mais à ces vitesses différentes, une fois éliminés l'effet de l'accélération et l'influence des accidents de terrain, nous trouverons par contre une résistance du train bien définie et variant avec chacune de ces vitesses : l'excès du couple électromagnétique de l'armature sur la résistance du train est employé à surmonter les résistances de frottement (des tourillons sur les coussinets, des roues sur les rails, de l'air sur la section transversale du train) et à fournir l'accélération à l'ensemble du train et de la locomotive. M. Mac-Mahon a retranché seulement de l'effort de traction obtenu, l'accélération de la locomotive, et il en a donné pour raison que le couple d'armature n'a rien à faire avec l'accélération du train compris derrière la barre

La mesure de l'effort de traction en marche à la barre d'attelage a donné des résultats intéressants. Ils sont résumés dans les courbes des figures 7, 8, 9 et la table V, à propos de de laquelle il convient de faire les mêmes réserves que pour les précédentes.

Tableau V

Courant en ampères	Effort de traction à la barre d'attelage mesuré au dynamomètre en kgs	Effort de traction mesuré au frein de Prony en kgs	Effort de traction dû à l'accélération diminué ou augmenté de la gravité en kgs	Effort de traction à la barre d'attelage ramené à vitesse constante et en paliers en kgs	Vitesse moyenne en kilomètres par heure	Durée de l'essai en secondes	Section de la ligne
43	192,60	216	4.500	197,10	6,975	45	Elephant à Kennington
48,6	182,70	279	11,160	193,860	7.020	40	»
60	270	409,50	77,85	347,85	4,6125	Valeurs instantanées calculées d'après les courbes	»
70	373,50	522	103,50	477	5.400		»
75	382,50	585	129,60	512,10	4,050		»
52,2	219,60	324	436,50	263,25	58,95	100	Kennington à Oval
55,4	225	360	55,215	280,215	6,75	105	»
							»
75	371,25	585	187,65	558,90	4,95	Valeurs instantanées calculées d'après les courbes	»

Remarquons encore que M. Mac-Mahon a cru devoir tracer une courbe représentant en fonction de la vitesse, les efforts de traction à la barre d'attelage ramenés en palier et à vitesse constante (fig. 12).

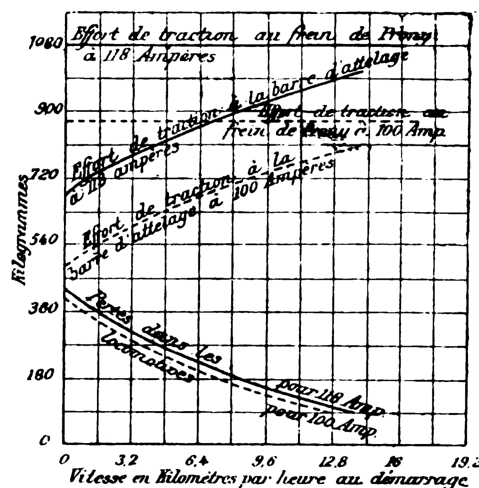


Fig. 12.

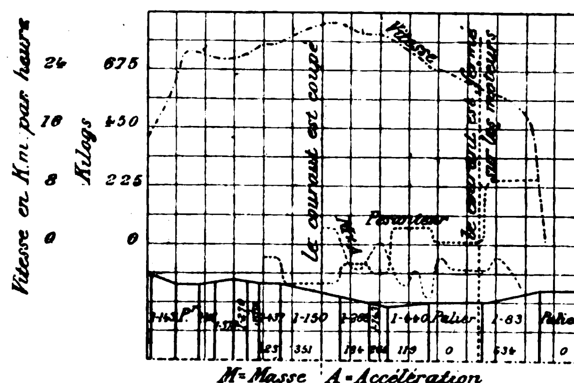


Fig. 13.

Cette courbe appelle quelques observations. A première vue, la forme en semble très

d'attelage. Mais d'autre part, pour tenir compte de l'influence de la gravité, il a calculé d'une manière différente, les corrections introduites par cette influence : il a établit une distinction entre la composante de la pesanteur dûe au train proprement dit, et à celle due à la locomotive seule. M. Mac-Mahon a retranché de la valeur trouvée, l'effort de traction, la quantité relative à la gravité du train et de la locomotive. Il a donc introduit des corrections exactes, pour tenir compte des effets de la gravité, et inexactes pour éliminer l'influence de l'accélération. Cette confusion paraît due à l'emploi, par l'auteur anglais, d'une terminologie défectueuse,

***

naturelle ; nous y voyons que l'effort de traction à la barre d'attelage augmente avec la vitesse, comme on doit s'y attendre. — Nous constatons de même que l'ordonnée de la courbe des pertes dans la locomotive diminue quand la vitesse augmente. C'est encore conforme à ce que nous savons sur le frottement des tourillons, dont l'importance varie, jusqu'à une certaine limite, en sens inverse de la vitesse. M. Mac-Mahon spécifie que ces pertes dans la locomotive renferment non seulement le frottement des tourillons sur les coussinets et celui des roues sur les rails, mais aussi la résistance de l'air. Ce dernier élément augmente en même temps que la vitesse, les autres diminuant, dans les mêmes circonstances.

D'après la figure 10, l'ensemble des pertes dans la locomotive doit être considéré comme diminuant, quand la vitesse augmente, d'une quantité juste égale à l'accroissement de l'effort de traction à la barre d'attelage. *A priori*, on ne comprend pas très bien comment la diminution des pertes peut justement équilibrer l'accroissement de ce dernier effort.

Il semble qu'il y ait là, comme le fait remarquer M. Smith [1], quelque confusion dans la définition de ces divers éléments. Les *pertes* propres à la locomotive sont absolument de même nature, aux pertes ohmiques et aux frottements des tourillons près, que les pertes relatives aux voitures d'attelage. Il semble que les frottements des tourillons doivent diminuer quand la vitesse croît et les autres pertes définies par M. Mac-Mahon augmenter, dans le même cas [2].

Résistance a la traction par tonne de train. — Cherchons à établir la résistance à la traction offerte par une tonne-train. Nous pouvons dans ce but, partir des courbes 7, 8, 9 certaines corrections sont évidemment nécessaires, surtout dans les démarrages, où la locomotive et la première voiture pouvaient se trouver en rampe, les deux autres voitures étant encore en palier.

En partant des courbes 8, 9, 10, 11, M. Mac-Mahon a calculé une table donnant l'effort de traction total en palier pour des vitesses variant de 0 à 16 km par heure. Nous ne donnerons pas cette table, qui ne fait que présenter sous une autre forme les résultats que avons nous obtenus précédemment. Nous pouvons même faire remarquer à ce propos, que la section de la ligne sur laquelle a porté notre étude n'a pas été choisie au hasard. En effet, les démarrages sont particulièrement intéressants aux deux stations de Kennington et d'Elephant and Castle, en raison des accidents de terrain qu'on remarque presqu'au sortir des gares.

Revenons à la figure 4. La courbe E a été établie au moyen du tableau IV; elle représente l'effort de traction, exercé en palier par la locomotive, et exprimé en fonction du courant. On peut constater l'accroissement des pertes dans la locomotive quand le courant croit.

Ce fait est dû par suite à une valeur plus élevée des frottements intérieurs, ou de ceux

---

[1] *Journal of the Institution of Electrical Engineers*, vol. XXVIII, n° 141, 24 mai 1899.

[2] Le problème semble donc avoir été mal posé.

Appelons G le couple électromagnétique réduit à une force agissant à la périphérie des roues, G_L la composante effective du poids de la locomotive, G_T le même élément relatif au train, A_L et A_T les accélérations, ΣF_L et ΣF_T les sommes des frottements correspondant respectivement à la locomotive et au train, E l'effort de traction à la barre d'attelage. On a l'équation

$$G - G_L - A_L - \Sigma F = E = G_T + A_T + \Sigma F_T$$

Pour obtenir les pertes de toute nature dans la locomotive, il suffit de faire la différence

$$G - G_L - A_L - E = \Sigma F_L$$

des roues sur les rails, car la résistance est certainement plus grande pour une vitesse plus forte, et la valeur la plus haute du courant correspond à l avaleur la plus faible de la vitesse.

Cette courbe E appelle encore quelques remarques. Aussi longtemps que M. Mac-Mahon se borne dans sa méthode à prendre la moyenne, par rapport au temps, des efforts de traction à la barre d'attelage et des efforts dûs à l'accélération diminués ou augmentés de l'effet de la pesanteur, il reste concordant avec lui-même. Mais M. Mac-Mahon a le tort de calculer les efforts ainsi corrigés en établissant une proportionnalité entre l'effort de traction et le courant : or il a été constaté, dans les expériences de M. Mac-Mahon elles-mêmes, qu'à un courant de 40 ampères correspondait un effort de traction de 4,54 km par tonne, et à un courant de 140 ampères, un effort de traction de 9,54 kg. C'est sans doute dans l'accroissement des pertes au sein de la locomotive qu'il faut chercher la raison de ces divergences.

Une autre série d'expériences effectuées entre les stations de Kennington et d'Oval est résumée dans les courbes des figures 15, 16, 17. La première courbe a été obtenue avec une locomotive remorquant trois attelages, la seconde, dans le cas d'un train de deux voitures. On déterminait comme précédemment les divers éléments de la marche, courant, vitesse, etc. On lançait la machine à pleine vitesse, et l'on coupait le courant en un point déterminé à l'avance : la machine gravissait alors une rampe légère, sous l'effort de sa vitesse et de la gravité, le train atteignait une vitesse de 20,86 km par heure. Le courant était de nouveau fermé sur la machine.

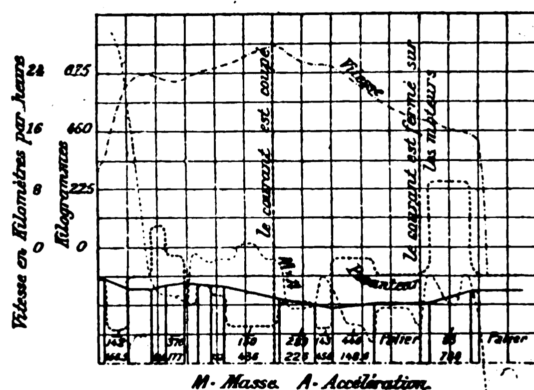


Fig. 14.

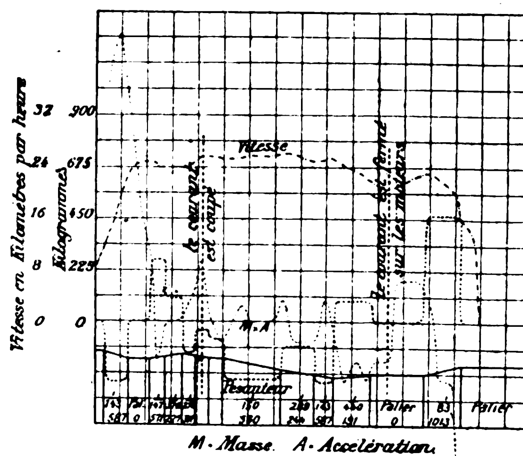


Fig. 15.

Les deux séries d'essais représentés dans les figures 13 et 14 ont donné comme effort de traction par tonne en palier 4,97 kg, dans le cas d'un train de trois voitures. à la vitesse de 25,430 km à l'heure. L'effort de traction est plus élevé, 5,49 kg par tonne, dans le cas d'un train de deux voitures lancé à la vitesse de 26,470 km à l'heure. On constate donc dans ce cas un léger accroissement de l'effort de traction, dû sans doute à ce que la résistance de l'air est sensiblement la même pour des trains de deux ou de trois voitures tandis que la résistance provenant du poids à remorquer doit être considérée comme proportionnelle à ce poids.

La figure 15 représente les résultats d'une autre série d'expériences où le courant fut coupé plus tôt, et où la vitesse fut maintenue constante jusqu'à ce que le courant fut coupé.

La courbe (fig. 16) donne les variations de la résistance à la traction par tonne, les tables

VI et VII résument de même les valeurs des efforts de traction obtenues. La première table donne les efforts de traction trouvés jusqu'à une vitesse de 12,8 km : h, les valeurs de ces efforts sont déduites de courbes analogues à celles des figures 10, 11,; la table VII donne les valeurs des efforts de tractions jusqu'à une vitesse de 31,50 km. Cette courbe 16 doit être considérée comme donnant l'effort de traction à la barre d'attelage c'est-à-dire l'effort destiné à vaincre la résistance des seules voitures de remorque.

TABLEAU VI

VITESSE en km par heure	DÉMARRAGE A LA STATION d'Elephant and Castle (locomotive 3)		DÉMARRAGE A LA STATION de Kennington (locomotive 3)		DÉMARRAGE A LA STATION d'Elephant and Castle (locomotive 12)		DÉMARRAGE A LA STATION de Kennington (locomotive 12)		MOYENNE de l'effort de traction en palier
	Total	par tonne	Total	par tonne	Total	par tonne	Total	par tonne	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	558	215,10	558	21,51	585	20,25	607,50	20,97	21,06
1,6	360	13,86	382,50	14,17	315	10,93	416,25	14,40	13,32
3,2	247,5	9,54	324	12,01	292,50	10,12	351	12,15	8,73
4,8	112,5	4,18	225	8,32	292,50	10,12	274,50	9,56	8,01
6,4	103,5	3,82	117	4,32	274,50	9,45	184,50	6,39	5,98
8,0	111,50	4,68	58,50	2,16	234	8,10	123,75	4,27	4,77
9,6	45	1,66	45	1,66	180	6,23	117	4,05	3,37
11,2	67,5	2,61	54	2,01	126	4,36	105,75	3,82	3,19
12,8	111,50	4,68	56,25	2,08	108	3,73	90	3,12	3,37

NOTA. — Les résultats obtenus avec les locomotives 12 et 3 sont légèrement différents : ces écarts tiennent à ce que le moteur de la locomotive n° 3 comporte un enroulement renforcé avec 810 conducteurs périphériques au lieu de 540.

TABLEAU VII

VITESSE en km par heure	EFFORT à la barre d'attelage	EFFORT de traction dû à l'accélération diminué ou augmenté de la gravité	DURÉE de l'essai en secondes	EFFORT MOYEN par tonne en palier, en kgr	POIDS DU TRAIN en charge	SECTION DE LA LIGNE
23,60	243	101,70	95	5,310	26,1	Kennington-Oval
23,20	281,25	156,60	150	5,1120	24,37	Oval-Stockwell
22,52	290,25	115,20	95	6,0525	28,9	Kennington-Oval
21,60	324	151,20	165	6,480	26,6	Oval-Stockwell
29,22	139,50	15,75	100	5,7375	24,37	Stockwell-Oval
31,26	101,25	57,60	45	6,525	24,37	»
28,32	138,60	22,95	65	5,9265	27,25	Oval-Kennington

IV. — CRITIQUES DES EXPÉRIENCES DE M. MAC-MAHON. COMPARAISON DE SES RÉSULTATS AVEC CEUX DES AUTRES OBSERVATEURS

Les expériences de M. Mac-Mahon ont été très discutées et ses résultats très critiqués, car ils ne s'accordaient guère avec ceux obtenus jusqu'alors. On peut certes reprocher à M. Mac-Mahon une certaine confusion dans l'exposé de ses recherches, et une terminologie fâcheuse, qui prête à équivoque, mais il semble que la plupart des critiques dirigées contre ses recherches sont injustes, et que son travail n'a pas été toujours pleinement compris.

M. Taylor a fait, il y a quelques années, une série d'essais sur les mêmes moteurs de locomotive et suivant une méthode analogue à celle de M. Mac-Mahon : il a obtenu des résultats différant profondément de ce dernier. Les valeurs moyennes des efforts obtenues s'écartent souvent de plus de 15 p. 100 dans les deux cas.

Nous donnons en figure 17 la courbe construite par M. Taylor, destinée à représenter, en fonction du temps, l'effort de traction calculé pour l'ensemble du train et de la locomotive.

On voit quelle différence elle présente avec celle de M. Mac-Mahon, bien que ces deux courbes ne soient pas tout à fait comparables, puisque celle donnée par M. Mac-Mahon n'est

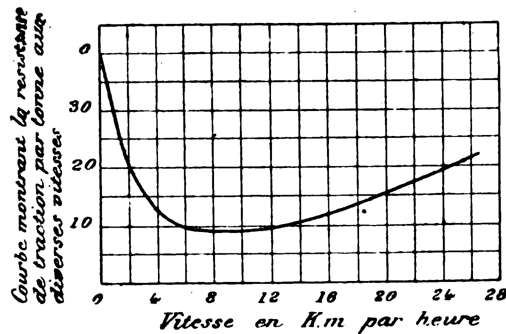


Fig. 16.

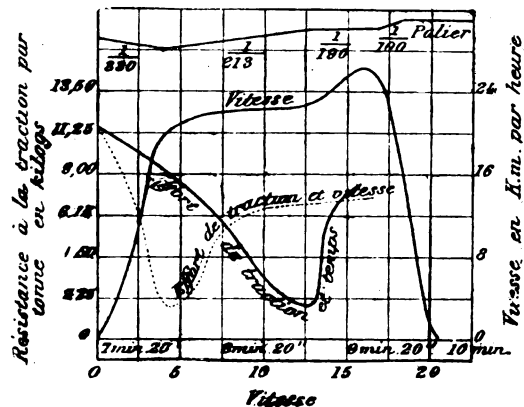


Fig. 17.

relative qu'au train seul. Ce fait réduit quelque peu l'importance du désaccord constaté entre ces deux courbes. Remarquons cependant que dans la courbe 17, l'effort de traction initial s'élève à 10,25 kg par tonne et que le minimum de cet effort est de 2,05 kg par tonne. M. Mac-Mahon trouve respectivement pour ces deux valeurs 18 kg et 4,5 kg.

Dans la figure 17, la courbe ponctuée nous donne l'effort de traction en fonction du temps, la courbe pleine, cet effort en fonction de la vitesse. M. Taylor a de même construit une courbe représentant l'effort de traction en fonction de distance. La valeur de l'effort de traction a été tirée de la moyenne de ces trois courbes. Pour donner une idée de ces divergences profondes existant encore dans les résultats obtenus, rappelons que dans la section Kennington-Oval, M. Taylor trouve pour l'effort de traction la valeur moyenne de 6,52 kg par tonne de train. M. Mac-Mahon a obtenu 5,28 kg pour le même élément

Nous n'insisterons pas davantage sur les écarts à signaler entre les chiffres de M. Taylor et ceux de M. Mac-Mahon. Rappelons cependant que dans le doute et jusqu'à preuve du contraire, les résultats obtenus par M. Mac-Mahon semblent mériter toute notre confiance. M. Taylor a obtenu des chiffres comprenant l'effort total des moteurs pour les divers courants : il en déduisait les efforts négatifs ou positifs dûs soit à la gravité, soit à l'accélération. M. Taylor ne s'est pas servi du dynamomètre ni d'appareils enregistreurs, se privant ainsi d'un moyen de contrôle précieux.

Les quelques critiques que soulèvent les travaux de M. Mac-Mahon n'enlèvent rien à l'importance des résultats qu'il a acquis au prix de difficultés sans nombre et grâce à son indomptable patience. Le sujet est encore si complexe, et les modes opératoires si différents dans leurs principes, que les résultats même les plus discordants doivent être critiqués avec réserve. N'oublions pas en effet qu'une foule de circonstances particulières dans chaque cas empêchent l'obtention de résultats comparables. Le type de régulateur, le mode

de couplage des moteurs, et surtout le mode de démarrage employés, jouent un rôle capital dans les valeurs trouvées pour l'effort de traction dans le cas des tramways et des trains électriques urbains, à arrêts très fréquents. Nous ne pouvons mieux faire en terminant, que de rapprocher des chiffres obtenus par Mac-Mahon, ceux trouvés par M. Siemens, avec la même locomotive travaillant dans les mêmes conditions (Tableau VIII). Le premier

TABLEAU VIII

SECTIONS DU PARCOURS	RÉSULTATS DE M. MAC-MAHON					RÉSULTATS DE M. SIEMENS				
	COURANT de démarrage en ampères	VITESSE EN KILOMÈTRES par heure à la fin de la période de démarrage	DURÉE DE LA PÉRIODE de démarrage en secondes	DURÉE DE LA PÉRIODE de marche normale en secondes	TEMPS TOTAL en secondes pendant lequel a circulé le courant	COURANT DE DÉMARRAGE en ampères	VITESSE EN KILOMÈTRES par heure à la fin de la période de démarrage	DURÉE DE LA PÉRIODE de démarrage en secondes	DURÉE DE LA PÉRIODE de marche normale en secondes	TEMPS TOTAL en secondes pendant lequel a circulé le courant
Borough à Elephand and Castle	120	25,6	35	80	115	120	25,6	30	85	115
Elephant and Castle à Kennington	140	23,20	45	85	130	135	22,4	50	76	126
Kennington à Oval	120	21,60	50	100	150	120	20,8	40	96	136
Oval à Stockwell	120	23,20	35	185	220	120	22,4	30	145	175

observateur s'astreignait à démarrer sous un courant maintenu fixe par le jeu des résistances. Le second laissait le courant déchoir naturellement de sa valeur maxima.

L. BARBILLION.

CONGRÈS INTERNATIONAL D'ÉLECTRICITÉ

Dans le précédent article, nous avons donné une vue d'ensemble des travaux du Congrès; dans celui-ci nous allons examiner quelques-unes des questions qui y ont été traitées. Nous ne nous astreindrons pas à suivre l'ordre, d'ailleurs arbitraire, dans lequel les communications ou rapports ont été présentés aux diverses sections; nous préférons examiner d'un même coup celles qui se rapportent à un même sujet en commençant par les sujets pour lesquels nous avons obtenu les renseignements les plus complets.

GRANDEURS ET UNITÉS ÉLECTRIQUES

Parmi les questions soumises à la section I (Méthodes scientifiques d'appareils de mesure) du Congrès, se trouvait celle des grandeurs et unités électriques.

M. REY-PAILHADE proposait l'adoption d'un nouveau système d'unités basé sur une unité physique de temps égale à la cent millième partie du jour solaire moyen [2].

[1] Voir l'*Éclairage Électrique* des 18 et 25 août et du 1er septembre, p. 275, 294 et 334.

[2] Les avantages et inconvénients de la décimalisation de l'heure et de la circonférence ont été exposés dans ce journal, par M. CORNU (t. XI, p. 385) et par M. H. POINCARÉ (t. XI, p. 529). Voir aussi sur le même sujet :

L'American institute of electrical engineers proposait de donner des noms aux unités absolues des systèmes électromagnétique et électrostatique et de choisir des préfixes pour les multiples et sous-multiples décimaux de ces unités autres que ceux ayant des préfixes consacrés par l'usage (1).

M. Blondel présentait un projet de dénominations répondant aux vues de l'American Institute of Electrical Engineers (2).

M. Hospitalier présentait un projet du même genre; il indiquait en outre quelques règles permettant de multiplier dans une large mesure le nombre de grandeurs et d'unités à notre disposition sans créer de mots nouveaux (3).

H. Pellat (t. XI, p. 174), P. Janet (t. XII, p. 39), H. Poincaré (t. XII, p. 39), Société des Ingénieurs civils (t. XII, p. 138).

(1) Le principe de ces propositions a été indiqué dans l'*Éclairage Électrique* du 8 juillet 1899 (t. XX, p. 30), d'après une note éditoriale de *The Electrical World*. Il a été examiné cette année par l'American Institute of Electrical Engineers qui, en mars dernier, nommait un Comité composé de MM. F.-B. Crocker, W.-E. Geyer, G.-A. Hamilton, A.-E. Kennelly (président) et W.-D. Weawer, chargé d'examiner les questions suivantes :

1° Donner des noms aux unités absolues des systèmes électromagnétique et électrostatique ;

2° Désigner par des préfixes les multiples de ces unités ;

3° Rationaliser le système actuel en faisant l'unité absolue de magnétisme égale à la ligne magnétique actuelle, et la différeuce absolue de potentiel magnétique égale à l'unité actuelle de courant-tour ;

4° Soumettre une partie ou la totalité de ces questions au Congrès qui doit se tenir à Paris cette année.

Le Comité, après avoir étudié ces questions, présentait les résolutions suivantes, adoptées à l'unanimité par l'American Institute dans sa séance de mai 1900 :

1° Nous estimons qu'il est nécessaire de donner des noms aux unités absolues des systèmes électromagnétique et électrostatique, ainsi qu'à des préfixes convenables pour désigner les multiples et les sous-multiples décimaux de ces unités, en supplément et en addition de ceux déjà en usage.

2° Le Congrès international d'électricité qui se tient cette année à Paris doit être invité à choisir ces noms et ces préfixes ;

3° Un grand avantage serait attaché à la rationalisation des unités électriques et magnétiques, et le Congrès doit être invité à rechercher les voies et moyens d'obtenir cette rationalisation.

(2) Les propositions faites par M. Blondel sont celles que nous présentions en son nom l'an dernier, au Congrès de Boulogne-sur-Mer, de l'Association française pour l'avancement des sciences (*Écl. Élect.*, t. XXI, p. 7, 7 octobre 1899). Elles consistent à adopter pour les unités magnétiques C. G. S. les noms (gauss, weber, etc.) proposés antérieurement par l'American Institute (voir rapport de M. Hospitalier au Congrès de Genève, *Écl. Élect.*, t. VIII, p. 338, 5 septembre 1896), à donner aux unités absolues électriques des noms nouveaux (galva, frank, poisson, etc.), enfin à employer les préfixes hyper et ano pour les multiples décimaux 10^9 et 10^{15} de ces unités et les préfixes hypo et catho pour les sous-multiples 10^{-9} et 10^{-15}. Comme nous l'avons déjà dit ces propositions nous parraissent très rationnelles.

Rappelons qu'auparavant M. Blondel avait proposé les dénominations de né-ampère, néo-volt, etc., pour les unités C.G.S. d'intensité, de force électromotrice, etc. (*Écl. Élect.*, t. XX, p. 195, 5 août 1899).

Quant aux anciennes propositions de Blondel sur les unités magnétiques, elles ont été également exposées dans ce journal (t. VII, p. 528, 20 juin 1896 et t. VIII, p. 529, 19 septembre 1896 ; voir aussi à ce propos les notes de M. Blondel et de M. Brylmski (t. XIII, p. 237 et 239, 30 octobre 1897).

(3) Les propositions faites par M. Hospitalier et relatives à la formation des noms des grandeurs dérivées ont été indiquées dans l'*Éclairage Électrique* du 4 novembre 1899 (t. XXI, p. 196). Ces propositions ont donné lieu à des remarques de M. E. Marchais La Grave (*Écl. Élect.*, t. XXI, p. 275, 18 novembre 1899) et de M. Juppont (*Écl. Élect.*, t. XXI, p. 314, 25 novembre 1899).

Dans le numéro du 10 août 1900 de l'*Industrie Électrique*, M. Hospitalier a publié un article donnant l'ensemble de ses propositions ainsi qu'un tableau indiquant les symboles, équations de définition et dimensions des quantités physiques et les noms et abréviations de ces unités d'après les recommandations de la Commission de la Chambre des délégués du Congrès international des électriciens de Chicago de 1893.

En ce qui concerne les noms des unités, M. Hospitalier ne fait pas de nouvelles propositions. Pour les unités magnétiques du système électromagnétique C.G.S. il reproduit les noms (gauss, weber, œrsted, gilbert), préconisés par la Commission de Chicago.

Quant aux préfixes destinés à indiquer les multiples et sous multiples décimaux des unités, M. Hospitalier propose : *kilomeg* pour 10^9, *megameg* pour 10^{12}, *millimicro* pour 10^{-9} et *micromicro* pour 10^{-12}.

A propos du tableau dont il vient d'être question, M. Blondel fait remarquer, dans une lettre qu'il nous a adressée tout récemment, qu'il est inexact de placer le mètre parmi les unités du système pratique d'unités électriques.

Sur ces propositions venaient s'en greffer plusieurs autres : adoption officielle des décisions du Congrès de Genève relatives aux grandeurs et unités photométriques (¹); discussion des notations électrochimiques proposées par le Dr Le Blanc au récent Congrès international de Chimie (²); proposition par M. Hollard de nouvelles notations électrochimiques, etc.

On voit que la question des grandeurs d'unités électriques, tout en ayant perdu de l'ampleur qu'elle avait lors de la réunion du premier Congrès des Electriciens en 1881, risquait fort, par les discussions qu'elle devait nécessairement soulever, d'absorber tout le temps des séances de la section I.

C'est ce que fit justement observer M. Cornu qui, en l'absence de M. Violle, présidait la première séance de cette section. Aussi, sur la proposition de M. Hospitalier nommât-on une Commission internationale (³) chargée d'étudier la question et de présenter un rapport à l'une des séances ultérieures.

Après de nombreuses discussions, M. Hospitalier, président et rapporteur de la Commission, présentait à la première section du Congrès le rapport suivant :

Dans ses séances des 21 et 22 août 1900, la Commission des unités, nommée par la section I du Congrès international d'électricité, a adopté les vœux suivants :

1° La Commission ne prendra en considération que les propositions de nature à n'apporter aucune modification aux décisions des Congrès antérieurs (⁴) ;

2° La Commission ne croit pas à la nécessité actuelle de donner des noms à toutes les unités électromagnétiques.

Cependant, en présence de l'emploi d'appareils pratiques de mesure donnant directement les intensités de champ en unités C. G. S., la Commission recommande l'attribution du nom de *Gauss* à cette unité C. G. S.

La Commission propose d'attribuer à l'unité de flux magnétique, dont la grandeur sera définie ultérieurement, le nom de *Maxwell.*

M. Kennelly, au nom de l'American Institute of Electrical Engineers, retire les propositions relatives aux préfixes et à la rationalisation des unités électriques et magnétiques.

Ces vœux furent discutés dans la séance du vendredi 24 août de la section I.

Le premier a été adopté à l'unanimité. Cette adoption entraînait le rejet de la proposition de M. Rey-Pailhade, celle-ci ayant pour objet de substituer à la seconde sexagésimale adoptée comme unité de temps dans le système C. G. S., la cent millième partie du jour solaire moyen qui est environ moitié moins grande que la seconde sexagésimale.

Dans ce dernier système l'unité de longueur est en effet le quadrant terrestre, c'est-à-dire 10 000 000 m ou 10^{11} unités C. G. S. de longueur. Cette remarque est utile car dans les calculs relatifs aux câbles télégraphiques sous-marins, son oubli entraîne les plus graves erreurs.

En ce qui concerne les préfixes, M. Blondel fait observer que la proposition de M. Hospitalier, bien qu'ayant l'avantage de ne pas créer de nouveaux noms de préfixes, a l'inconvénient de ne pas dénommer la puissance quinzième (positive ou négative) de l'unité, puissance qu'il convient de considérer dans les applications.

(¹) *L'Éclairage électrique*, t. VIII, p. 341 et 366, 22 août 1896.

(²) *L'Éclairage électrique*, t. XXIV, p. 270, 18 août 1900. Une erreur d'impression qui s'est glissée dans la reproduction des notations proposées par le Dr Le Blanc rend malheureusement incompréhensible une des principales critiques que nous faisons à ce système de notations. Ce n'est pas par K, mais par $\varkappa$ (kappa) que M. Le Blanc propose de représenter la conductivité des électrolytes, lettre déjà universellement employée pour représenter la susceptibilité magnétique qu'il faut souvent considérer en même temps que la conductivité dans l'étude des solutions électrolytiques.

(³) Cette Commission des Unités était composée de MM. Ayrton (Grande-Bretagne), de Chatelain (Russie), Dorn (Allemagne), de Fodor (Hongrie), Eric Gérard (Belgique), de Hoor Tempis (Hongrie), Hospitalier (France), Lombardi (Italie), Kennelly (États-Unis).

(⁴) *L'Éclairage Électrique*, t. XXIV, p. 275, 18 août 1900.

Le second vœu, bien qu'écartant presque entièrement les propositions de l'American Institute, de M. Blondel et de M. Hospitalier, a donné lieu à une vive discussion ([1]).

A la suite de cette discussion, M. Violle, président de la section, a mis aux voix la proposition suivante : « La section recommande l'attribution de noms spéciaux aux unités C. G. S. de champ magnétique et de flux magnétique », proposition qui a été adoptée à l'unanimité moins deux voix.

Ce point acquis, la séance a été suspendue pendant quelques minutes pour permettre aux membres d'échanger leurs vues sur les noms à adopter pour chacune de ces unités. A la reprise de la séance, M. Violle a mis aux voix les deux propositions suivantes :

« 1° *La section recommande l'attribution du nom de* Gauss *à l'unité C. G. S. de champ magnétique. 2° La section recommande l'attribution du nom de* Maxwell *à l'unité C. G. S. de flux magnétique.* »

Ces deux propositions ont été adoptées à l'unanimité moins deux voix. Cette adoption a été ratifiée par les délégués officiels des gouvernements dans leur séance du 24 août, puis par l'ensemble des sections du Congrès dans la séance de clôture du 25 août.

On voit que, comme le faisait remarquer M. Mascart, ces propositions sont en contradiction, sinon avec le texte, du moins avec l'esprit des décisions des Congrès antérieurs, puisqu'il avait été implicitement décidé dans ces Congrès que les unités du *système pratique* recevraient seules des noms de savants illustres, les noms des unités C. G. S. devant recevoir des noms tirés de langues mortes. Fort heureusement elles n'empêcheront pas la « rationalisation » de la nomenclature électrique, car, suivant la voie qui vient d'être ouverte, rien n'empêchera de donner, le jour où l'urgence s'en fera sentir, des noms de savants aux unités électriques C. G. S., les noms tirés du grec ou du latin restant réservés aux unités mécaniques de ce système.

En comparant le nombre des propositions soumises au Congrès et celui des propositions

---

([1]) En voici le résumé, d'après le compte rendu donné par les secrétaires de la section.

M. Mascart combat l'attribution d'un nom à l'unité C. G. S. de champ magnétique. L'emploi d'appareils pratiques de mesure donnant directement les intensités de champ en unités C. G. S. ne paraît pas suffisante pour justifier l'attribution d'un nom à l'unité. En outre, cette décision paraîtrait contraire à l'esprit des congrès de 1881 et 1889 qui n'ont pas donné de noms de savants aux unités C. G. S. M. Mascart admettrait que l'on donne un nom à l'unité pratique. En tout cas, le nom de Gauss lui semble pouvoir donner lieu à confusion, Gauss étant l'inventeur du premier système absolu (millimètre-milligramme-seconde) système qui est encore employé actuellement dans certains cas.

M. G. J. van de Well, est partisan d'adopter le nom de Maxwell pour l'unité du flux magnétique, mais il insiste pour que l'on définisse la grandeur de cette unité.

M. Kohlrausch dit que les unités absolues suffisent aux physiciens, mais que si les ingénieurs éprouvent le besoin d'unités pratiques, M. Dorn et lui ne voient pas d'inconvénient à ce qu'on leur donne des noms ; ceux de Gauss et de Maxwell par exemple. Les délégués allemands ne peuvent s'engager pour leur gouvernement et pensent que le Congrès doit se borner à recommander l'emploi de ces nouvelles appellations sans chercher à leur donner une sanction légale.

M. Ayrton, est de l'avis de M. Mascart et rappelle que l'on utilise depuis plusieurs années des appareils (A. M. fields tester) et que l'on a pas éprouvé le besoin de donner un nom à l'unité de champ. Il fait observer d'autre part que l'unité C. G. S. de champ est d'un emploi pratique.

M. Mascart fait remarquer qu'il y a ambiguïté sur le mot *pratique*. L'unité C. G. S. de champ est employée en pratique, mais n'appartient pas au *système dit pratique*.

M. Hospitalier insiste pour que l'on donne des noms à l'unité de champ et à l'unité de flux. Il ne demande pas de décision légale, mais une simple recommandation de la section.

Suit une discussion à laquelle prennent part MM. Ayrton, Carpentier, Dorn, Fernandez Addison, Hospitalier, Kohlrausch, Mailloux, Mascart, Siemens (Alexandre), Thompson (Sylvanus).

M. Gérard (Eric) dit qu'il croit qu'il y a lieu de décider d'abord que des noms seront donnés aux unités C. G. S. de champ magnétique et de flux d'induction magnétique.

M. Mascart se rallie à cette proposition qui est adoptée.

....

adoptées par lui, certains de nos lecteurs penseront que le Congrès de 1900 n'a pas suffisamment suivi la voie ouverte par les Congrès antérieurs, tandis que d'autres (et nous en connaissons beaucoup), estimeront que la question de l'uniformisation de la nomenclature électrique ne peut aboutir. A notre avis les uns et les autres sont dans l'erreur. Par l'expérience de la direction de ce journal, nous avons pu nous convaincre de la nécessité d'une uniformisation de la nomenclature, des symboles, des abréviations et des notations. Mais nous croyons aussi que la question n'est pas absolument mûre et qu'il faudra plusieurs années pour habituer les auteurs à adopter peu à peu le système rationnel; c'est là le rôle des directeurs de journaux techniques, et à ce point de vue notre confrère, M. Hospitalier, a rendu de grands services. Nous le seconderons de notre mieux, ses idées nous paraissant très logiques dans leur ensemble. Toutefois nous estimons qu'un Congrès international ne devait pas prendre, sur des détails, des décisions engageant l'avenir. Le Congrès international d'Electricité de 1900 ne pouvait donc, nous semble-t-il, adopter des propositions plus larges que celles qu'il a recommandées.

LES INSTALLATIONS INTÉRIEURES D'ÉCLAIRAGE ET DE FORCE MOTRICE

Cette question a été l'objet de deux communications faites devant la sous-section II_B (Éclairage Électrique), l'une par M. Starnoievitch, l'autre par M. Mornat.

M. Stanoievitch a développé quelques considérations tendant à démontrer que les compagnies de distribution d'énergie électrique auraient intérêt à développer les *Installations intérieures gratuites*, les consommateurs en payant seulement la location par une redevance mensuelle. Il cite à l'appui de son opinion les résultats très satisfaisants obtenus par plusieurs compagnies anglaises qui ont adopté ce système.

Dans la discussion qui a suivi la communication, M. F. Meyer, directeur de la Compagnie continentale Edison, a fait remarquer que le système préconisé par M. Stanoievitch ne peut guère avoir d'intérêt que pour de petites stations établies dans des villes où il y a peu ou pas d'installateurs; dans une grande ville, il créerait pour l'exploitant une charge trop lourde, et il est alors préférable pour celui-ci de limiter son rôle aux coffrets d'arrivée du courant. M. E. de Fodor, qui a eu l'occasion d'expérimenter le système à Buda-Pesth, est de l'avis de M. Meyer.

M. Mornat a, dans une communication qui a été imprimée et distribuée aux membres de la section (cette communication est reproduite, page 334 de ce numéro), indiqué les diverses améliorations que l'on devrait, selon lui, apporter aux *Installations de lumière et de force motrice dans les théâtres*.

M. Mornat estime que c'est généralement bien à tort que l'on accuse les courts-circuits entre conducteurs électriques d'être la cause des commencements d'incendie qui se déclarent trop souvent dans les théâtres ; il reconnaît toutefois qu'il y aurait lieu de prendre des soins particuliers dans l'établissement des installations et il fait à ce sujet diverses recommandations.

M. Bochet a fait au sujet de cette communication les observations suivantes. Le double écrou des plombs fusibles est avantageusement remplacé par des rondelles, genre Belleville, préconisées par M. Picou; la guipure d'amiante offre des inconvénients dans les endroits humides; les connexions entre fils doivent être faites par soudure et non par serre-fils ; les appareils automatiques insuffisamment surveillés sont souvent une cause de danger.

M. Bochet a fait aussi observer que la communication de M. Mornat a la forme d'un

véritable règlement; il y a en cela un inconvénient grave, les prescriptions administratives étant généralement prises dans les comptes rendus des congrès.

M. Marcel Meyer a demandé que, contrairement à ce que propose M. Mornat, le mercure ne soit pas prohibé dans la confection des jeux d'orgue de théâtres, l'emploi de ce métal permettant des effets de scènes difficilement réalisables avec les rhéostats à fil métallique.

LA TRACTION ÉLECTRIQUE

Outre le rapport de M. Postel-Vinay sur les *Prises de courants pour tramways*, qui a été reproduit dans l'avant-dernier numéro de ce journal (25 août, p. 306), il a été présenté à la sous-section II_A : deux communications sur les systèmes de traction à contacts, une sur les voitures automobiles, une sur l'électrolyse par les courants de retour des tramways et enfin une sur le halage électrique des bateaux par remorqueurs et automobiles électriques Une sous-section II_C ayant été constituée pendant le Congrès pour étudier et discuter les avantages et inconvénients des systèmes de traction à contacts superficiels, MM. Bède, Diatto et Vedovelli ont fourni à cette sous-section divers renseignements sur leurs systèmes de traction.

La communication relative au *Halage électrique des bateaux*, faite par M. Léon Gérard, est déjà connue de nos lecteurs par l'article que M. Desombre a consacré à ce sujet et qui a été publié dans un des derniers numéros de ce journal [1]; disons donc seulement que cette application de l'électricité tire son principal intérêt de ce que, pour la première fois dans une installation de ce genre, on a fait usage de courants triphasés.

Les idées de M. Claude, l'auteur de la communication sur l'*Électrolyse par les courants de retour des tramways*, ont été aussi publiées récemment dans ce journal [2]; nous n'avons par conséquent pas à les rappeler ici.

Quant aux *Systèmes de traction à contacts*, décrits et discutés devant le Congrès, ils ont été, eux aussi, l'objet d'articles publiés dans ces colonnes [3], à l'exception toutefois du système Vedovelli qui n'a été que mentionné à propos de la description de la ligne du Bois de Boulogne, faite par M. Gosselin à la séance de mars dernier de la Société internationale des Électriciens [1].

---

(1) Desombre. Traction électrique par courants triphasés sur le canal de Bruxelles à Charleroi, *Écl. Élect.*, t. XXIV, p. 183, 4 août 1900.

(2) G. Claude. Quelques idées nouvelles sur le mécanisme de l'électrolyse par les courants de retour, *Écl. Élect.*, t. XXIV, p. 141, 28 juillet 1900.

(3) *Système Bède.* Dans ce système, en essai à Bruxelles, le câble d'alimentation, enveloppé par un guipage isolant, court le long d'un des rails de la voie ; ce câble est protégé par une enveloppe formée de deux fers cornières. Tous les mètres le câble traverse une sorte de coffret hermétique, à l'intérieur duquel il est dénudé ; ce coffret présente une ouverture latérale, fermée par un bouchon de caoutchouc traversé suivant son axe par un clou de contact. Contre la tête de ce clou vient frotter la charrue de prise de courant portée par la voiture et pénétrant dans l'ornière existant entre le rail de roulement et le fourreau protecteur du câble d'alimentation. Pour plus de détail voir A. Witz, Derniers progrès de la traction électrique, système de prise de courant Bède, *Écl. Élect.*, t. XXI, p. 201, 11 novembre 1899.

Système Diatto. Ce système, appliqué depuis dix-huit mois à Tours et tout récemment sur quelques-unes des nouvelles lignes de pénétration de Paris, est du genre dit magnétique. Le frotteur est aimanté et en passant sur les plots de prise de courant il provoque l'attraction d'un « clou » qui met le plot en communication avec le conducteur d'alimentation. Voir J. Blondin. Les tramways de Tours, *Écl. Élect.*, t. XIX, p. 121, 19 avril 1899.

Système Dolter. Le principe de ce système est le même que celui du système Diatto ; il est installé sur une ligne d'essai située à la Porte-Maillot et a été tout récemment décrit, t. XXIV, p. 216, 11 août 1900.

(1) Voici comment M. Gosselin expliquait le fonctionnement de ce système (*Bull. de la Soc. int. des Elect.*, t. XVII, p. 144 et suiv.).

La présentation de ces divers systèmes devant la sous-section II_C, présidée par M. Turettini, de Genève, a donné lieu à une discussion extrêmement intéressante et instructive

« La figure ci-jointe donne un ensemble schématique du système de ligne à contacts superficiels de M. Vedovelli.

» Le tramway chemine dans le sens de la flèche F. Prenons la barre de contact au moment où elle reçoit normalement du courant du plot P_1. Aussitôt que l'extrémité B de la barre touche le plot P_2 un courant dérivé prend naissance, traversant un solénoïde S_4 de fil fin pour se rendre en terre, c'est-à-dire au rail par les deux bornes a_3 et b_3 réunies en court-circuit par un pont K_3, lequel est mobile autour d'un axe de rotation O_3. Le solénoïde contient une armature de fer doux attelée sur le levier de support du pont K_2, de sorte qu'au moment où le solénoïde reçoit du courant et attire son armature le pont K_2 est relevé verticalement. Il abandonne les bornes a_2 et b_2 sur lesquelles il reposait librement et vient s'appliquer fortement sur les bornes c_2 et d_2 qu'il met en court-circuit. Or la borne d_2 reçoit le courant directement de la ligne ; le plot P_2 se trouve donc en relation métallique avec la ligne principale L. On dit que le plot est excité, c'est-à-dire qu'il est capable d'alimenter la barre de contact du tramway. Il devra évidemment rester excité jusqu'au moment où le plot suivant P_3, aura à son tour, été mis en relation métallique avec la ligne L. Or quand la barre, ayant cheminé toujours dans le sens de la flèche F, aura passé dans la position pointillée de la figure, le solénoïde S_3 en suivan le mécanisme déjà expliqué plus haut, aura attiré son armature, et le pont K_3 aura réuni les bornes a_3 et b_3. En ces points se trouve donc interrompu le courant dérivé qui traversait le solénoïde S_2. L'armature K_2 retombe sur les bornes a_2, b_2 et les bornes c_2, d_2 sont déconnectées, le plot P_2 est désexcité.

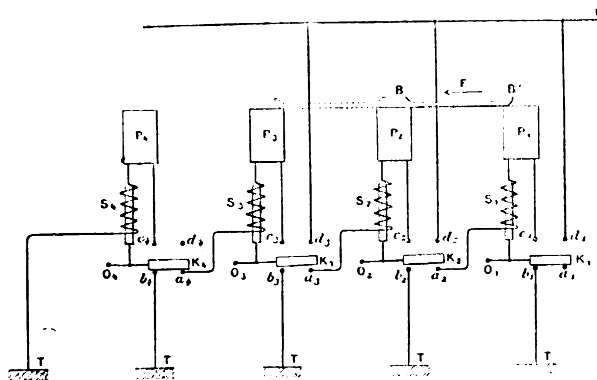


Schéma du système Vedovelli.

» Ainsi, par un dispositif véritablement très simple, la mise en circuit d'un plot amène la mise hors circuit du plot précédent.

» Grâce à un artifice de construction très ingénieux, le pont K n'abandonne les bornes *a*, *b*. qu'après avoir réuni entre elles les bornes *c*, *d*. Il résulte de cette disposition : 1° que le courant principal est amené sur le plot en prise par la barre de contact et que la fermeture des plots *c*, *d*, ne sert pas à l'établissement du courant principal ; 2° que les bornes *c*, *d*, sont déconnectées quand le plot qui va être abandonné est encore en contact avec la barre. Ces bornes ne servent donc pas à la rupture du courant qui se fait toujours sur la barre de contact.

» Il est en effet de la plus haute importance pour le bon fonctionnement et la durée des appareils que les bornes *c*, *d*, soient employées non pas comme interrupteurs qui seraient le siège d'étincelles et seraient dès lors condamnés à une usure rapide, mais bien comme commutateurs réunissant ou séparant des bornes métalliques, portées au même potentiel et entre lesquelles aucune étincelle n'est possible.

» Nous avons supposé le tramway en marche normale. Au départ, le premier plot recevra évidemment le courant soit du trôlet, soit d'un plot excité à la main au sortir de l'usine. Le dernier plot d'une section, ou plot de disparition, est simplement constitué par commutateur du type courant dont la borne d_4 reste isolée et dont le solénoïde est directement relié aux rails.

» Le tramway de M. Vedovelli, comme tous ses congénères, est muni d'un dispositif de sûreté destiné à empêcher qu'un plot ne puisse être découvert par le véhicule lorsqu'il est encore excité. Ce dispositif consiste ici en une chaine pendante reliée au sol d'une façon permanente et qui vient balayer successivement les plots abandonnés par la voiture. Si l'un de ces plots, par accident, demeurait excité, la chaine, par son contact, produirait un court-circuit en ligne et amènerait soit la fusion des plombs de sûreté placés dans le distributeur correspondant, soit le déclenchement du coupe-circuit automatique de l'usine centrale.

» Le système de M. Vedovelli, par ce fait même que le plot en prise opère par sa mise en circuit le déclenchement du plot précédent, impose au véhicule un sens de marche bien défini. Le mécanisme que nous avons exposé en détail pour l'alimentation et la mise hors circuit successive des plots, n'est pas reversible.

» Dans le cas où les nécessités du tracé obligent à l'établissement d'une voix unique, et par conséquent où l'on se trouve dans l'obligation de faire sur le même tronçon unique, circuler les véhicules dans les deux sens, une solution simple consistera à munir la voie d'une double série de distributeurs : les uns alimentant la voie montante et les autres la voie descendante.

» Dans ce cas, pour éviter que les plots de la voie montante ne soient excités par le tramway descendant, on pourra réunir les extrémités des solénoïdes par un fil de terre commun qui sera isolé ou mis en contact avec le rail, suivant les besoins, par un commutateur unique commandé automatiquement par le véhicule lui-même.

» On peut aussi remarquer que, pour renverser le sens de l'action des distributeurs, il suffit de commuter les

pour les spécialistes, mais aussi des plus vives. N'ayant pu suivre personnellement cette discussion dans son entier, nous nous bornerons à reproduire ici le résumé qui en a été donné par M. Grunberg, secrétaire de la sous-section [1] et à exprimer nos regrets que M. Vuilleumier, absent de Paris, n'ait pu prendre part à cette discussion.

---

connexions à la terre des solénoïdes qui devront être reliés au commutateur de droite dans le cas où le sens de la marche est inverse de celui de la flèche. Cette inversion du sens des connexions peut se faire par le moyen d'un simple commutateur à deux directions disposé dans le distributeur.

» Les plots de contact sont placés tous les 3 m environ et les distributeurs sont réunis au nombre de 10 dans des boîtes en fonte situées en bordure de la voie. Un commutateur unique permet alors la commande de toute la section correspondante et peut être manœuvré automatiquement par le passage du train.

» Cette sujétion du sens de marche défini par le sens d'action du distributeur, se retrouve fatalement dans tous les systèmes de tramways à contacts dans lesquels le plot en prise coupe le courant sur le plot abandonné.

» Cet inconvénient peut, dans certaines exploitations, devenir un avantage réel puisque le dispositif électrique d'alimentation constitue par lui-même un bloc-système automatique inviolable.

» On remarque que le tramway par son passage n'accapare jamais que deux plots au maximum. La voie redevient donc libre aussitôt que le véhicule a passé et une seconde voiture peut suivre à l'intervalle de quelques mètres.

» C'est un avantage sur certains systèmes où la ligne se trouve forcément divisée en sections sur lesquelles un véhicule, et un seul, peut s'engager sous peine d'occasionner un arrêt dans la distribution normale du courant.

» Une des éventualités que l'on doit prévoir dans l'exploitation des tramways à plots, c'est le manque de contact de la barre sur un pavé par suite, soit d'un mauvais fonctionnement d'un des distributeurs, soit de l'interposition accidentelle d'un isolant, baguette de bois, feuille de carton, etc.

» Dans le système que nous étudions, si le contact manque sur un plot, le plot qui vient d'être quitté n'est pas désamorcé. Il reste donc franchement excité et les chaînes de sécurité en le touchant, amènent un court-circuit franc qui met en action le jeu des appareils de sûreté, fusibles ou coupe-circuits automatiques.

» Le courant se trouve ainsi rompu sur le plot abandonné. Par hypothèse, il n'est pas établi sur le plot en prise : la voiture s'arrête.

» C'est là, à mon avis, un des grands avantages du système, de ne jamais permettre au véhicule de franchir un plot qui n'a pas fonctionné normalement.

» D'une manière absolue, on peut compter qu'au cours même de l'exploitation, un défaut, s'il se produit, se révélera de lui-même et qu'on sera dans l'obligation d'y apporter de suite le remède. Tous les systèmes de tramways à contacts n'offrent pas cette sécurité.

» L'utilisation des distributeurs comme commutateurs et jamais comme interrupteurs assure, comme nous l'avons déjà fait remarquer, la suppression des arcs d'établissement ou de rupture de courant dans les appareils. Il en résulte une très grande sécurité de fonctionnement à l'égard des dérivations de courant qui peuvent se produire sur la ligne entre les plots et la terre quand l'isolement des contacts est défectueux.

» Nous avons pu faire passer une voiture sur des plots sur lesquels nous avions établi à dessein une dérivation artificielle laissant passer environ 80 ampères en supplément de la charge normale. Les ruptures d'arcs se faisant, sur la barre de contact, les appareils distributeurs supportaient fort bien la surcharge. »

[1] SÉANCE DU JEUDI 23 AOUT. — M. DOLTER présente un modèle de *pavé de contact magnétique* de son invention. Après avoir fait la description de son système de traction, il indique les divers avantages qu'il croit y trouver. Parmi ceux-ci, il signale particulièrement : 1° Excellente utilisation du flux magnétique; 2° Interchangeabilité des pièces sujettes à l'usure ; 3° Grande longueur de rupture des arcs ; 4° Prix modique de l'installation et réparation des canalisations sans avoir besoin de toucher à la chaussée.

M. Vedovelli demande quelle pression s'exerce entre les charbons, s'ils ne rougissent pas et si un court-circuit ne détériore pas la boîte. M. Dolter répond que les charbons ont toujours bien fonctionné et que, par un court-circuit, il n'y a que le tube contenant le fusible qui soit abîmé ; celui-ci est d'ailleurs facilement remplaçable.

M. Bouton demande le dispositif employé pour empêcher l'eau d'entrer dans la boîte. M. Dolter présente alors sa fermeture hermétique à double cloche avec vaseline.

M. Vedovelli demande ce qui se passe quand un pavé est mal isolé, et si la distance de rupture de l'arc est suffisamment grande quand il existe une dérivation, de 50 ampères sous 500 volts par exemple, provenant de boues sales et métalliques. M. Dolter répond que les premières voitures sortant du dépôt portent des balais à l'avant nettoyant la voie en cas de boue ou de neige et qu'alors une si forte dérivation n'est pas à craindre. M. Bouton est également de l'avis qu'il ne peut y avoir un si fort courant.

M. le Président remercie M. Dolter de sa communication et donne la parole à M. Vedovelli.

M. VEDOVELLI expose son *système de traction électromagnétique* à sens de marche déterminé. Il montre que l'isolement des plots n'est pas nécessaire. Il appelle l'attention sur ce qui se passe dans les systèmes à commutateurs circulaires lorsque, un raté se produisant, la voiture continue son mouvement. Dans son système le commutateur revient à sa première position.

Sur la demande de M. Bouton, M. Vedovelli expose ensuite les moyens de rendre son système réversible.

M. le Président remercie M. Vedovelli de ses explications et donne la parole à M. Diatto.

Avant d'abandonner les tramways à contacts superficiels, rétablissons la vérité sur un point de l'historique de ces tramways. Il est généralement admis que l'idée première de ce système de traction remonte à 1883, année où elle fut formulée par Ayrton et Perry. C'est

---

M. Diatto expose que, dans son système, il n'y a pas à craindre d'étincelles à l'intérieur de la boîte. Il estime que la petite batterie de 6 à 8 accumulateurs que porte sa voiture est un avantage plutôt qu'un inconvénient en ce sens qu'elle évite beaucoup de ratés et qu'elle permet de remettre en route instantanément après un raté.

Séance du vendredi 24 août. — M. le Président donne la parole à M. Pollak pour présenter certaines considérations d'ordre général.

M. Pollak dit que l'on devrait s'inquiéter des moyens de faire continuer sa route à une voiture par déraillement momentané quand la voie est encombrée. Il lui semble que les systèmes de sécurité actuellement en usage ne sont pas suffisants et qu'il faudrait s'inquiéter de moyens plus sûrs. Il faut en outre que lorsque le système de sécurité a fonctionné, il soit facilement remplaçable.

Il y a intérêt à ce que le contact ait lieu en même temps entre le frotteur et plusieurs plots.

M. Védovelli présente un modèle de sa boite de distribution. Il montre que le contact des charbons de l'interrupteur est excellent, et que pendant un certain temps, le frotteur de la voiture est alimenté par deux plots consécutif.

M. Védovelli présente ensuite des généralités sur les systèmes à contacts superficiels. Il conseille d'après ses expériences personnelles, confirmées par celles de M. Vuilleumier et de M. Diatto de se servir pour les fils de dérivation de câbles sous caoutchouc et non sous plomb. Au besoin, on peut les mettre dans une enveloppe de grès ou même dans un tube de fer. Il signale la difficulté du nivellement des plots. Les parties usées doivent être facilement remplaçables. L'acier coulé lui a donné de bons résultats. Les frotteurs seront particulièrement bien isolés de la masse. Il croit que pour les systèmes électromagnétiques, il est préférable qu'un court-circuit fasse sauter un disjoncteur dans une boite de section.

M. Diatto pense que pour les systèmes magnétiques il est plus commode que le disjoncteur soit dans chaque pavé.

M. Bouton pense qu'un disjoncteur de section a de sérieux inconvénients pour un trafic intense, comme dans Paris, par exemple. Il trouve qu'il est préférable de marcher avec un plot mort qu'on peut changer pendant la nuit.

M. Védovelli croit que si l'on marche avec un plot mort, les suivants se détérioreront successivement.

M. Védovelli parle ensuite de l'entretien de la propreté des voies, du nivellement des plots, de la vérification des appareils de fonctionnement et de l'isolement des frotteurs. Il attire l'attention de ses auditeurs sur la difficulté des dispositions dans les courbes à cause du danger de court-circuit par les frotteurs. Dans les systèmes magnétiques, on rapproche les pavés en courbe. Dans les systèmes électromagnétiques, on est conduit à rendre les pavés plus larges dans les courbes. Dans les voitures à boggies, on peut mettre un frotteur sous chaque boggie, ces frotteurs étant reliés électriquement. A propos de la vitesse de marche dans les systèmes de traction par contact superficiel, il expose ses motifs de croire que l'on ne pourra jamais dépasser 40 à 50 km : h, à cause de l'inertie des pièces mécaniques.

M. Dolter croit qu'avec son système on pourra aller jusqu'à 200 km : h.

M. le président remercie M. Védovelli de ses généralités fort intéressantes et donne la parole à M. Diatto.

M. Diatto présente un système de pavé à double boîte pour la traction de voitures lourdes et en rampe. Il se range à l'avis de M. Védovelli pour l'impossibilité de faire de grandes vitesses.

M. Dieudonné dit que ses calculs l'ont mené à être de l'avis de MM. Védovelli et Diatto, sur les vitesses que l'on peut atteindre.

M. le président remercie M. Diatto et donne la parole à M. Bède qui développe le système qu'il a exposé dans la section II, sous-section A, à la séance du 28 août.

M. Bouton demande quelques explications sur les ruptures de courant, les aiguillages et le nettoyage du caniveau.

M. le président remercie M. Bède et donne la parole à M. Védovelli sur des considérations générales, sur l'utilisation de l'électricité pour les grandes vitesses.

Après avoir rappelé qu'avec le système de pavés de contact on ne peut pas atteindre aux grandes vitesses, M. Védovelli préconise le système de distribution par frotteur sur une file de rails. Cette file sera par tronçons pouvant atteindre plusieur centaines de mètres et recevrait le courant par un système électromécanique. Ce dispositif formerait un véritable block-système.

Ce système permettrait d'utiliser du courant continu à haute tension, 2 000 volts par exemple, avec grande sécurité, car le courant ne serait sur le rail qu'au passage du train.

M. le Président dit avoir vu en Amérique un système semblable.

M. Pollak parle de la difficulté de construire des contrôleurs et des moteurs continus de haute tension.

M. Sylvanus Thompson dit que pour les grandes vitesses il lui semble qu'il ne doit pas y avoir d'engrenages et que l'on ne pourra produire industriellement de collecteur pour moteur à grande vitesse et à haute tension. Il pense que le courant alternatif convient mieux dans ce cas.

M. le Président clôt les travaux de la sous-section et lève la séance à 11 heures et demie.

exact en ce qui concerne l'application de la traction électrique sur les voies ferrées des grandes lignes de chemins de fer. C'est inexact si l'on ne considère que la traction des tramways urbains. Le système Ayrton et Perry qui consiste à alimenter la voiture automobile au moyen d'un troisième rail divisé en tronçons mis automatiquement en communication avec le conducteur d'amenée du courant n'aurait pu en effet être appliqué à la traction urbaine sans modifications importantes; en particulier les sections du rail d'alimentation étant fort longues la voiture ne pouvait couvrir entièrement l'une d'elles et par conséquent la section sur laquelle la voiture se trouvait engagée devenait une source de danger pour les piétons et les chevaux. En réalité il faut aller jusqu'en 1886 pour trouver le premier système à contacts superficiels pour tramways urbains, le système Pollak et Biswanger; un modèle réduit d'un tramway de ce système a été présenté à cette époque à la Société internationale des Electriciens et dans un article publié dans le numéro du 16 avril 1887 de *La Lumière Électrique*, M. Rechniewski en faisait nettement ressortir le point nouveau et caractéristique en ces termes : « La voiture couvre toujours les segments qui communiquent avec le conducteur souterrain, de sorte qu'il n'y a ni danger de mise en court-circuit, ni celui de secousses pour les gens et les chevaux traversant la voie [1]. »

Dans sa communication sur la *Résistance des voitures automotrices à la traction*, M. Ernest Gérard, ingénieur en chef aux chemins de fer de l'Etat belge, a fait connaître les résultats que M. L'Hoest a déduits des essais de voitures à accumulateurs effectués depuis quelque temps sur ces chemins de fer principalement en vue de l'étude des moteurs et des appareils de changement de marche.

Il rappelle d'abord que la formule la plus générale donnant la résistance à la traction d'un train, en kilogrammes par tonne, est

$$r = a + bv + \frac{cSv^2}{T} \pm m,$$

où a, b, c sont des coefficients, v la vitesse en kilomètres à l'heure, m l'inclinaison de la voie en millimètres par mètre, S la surface d'attaque du train, T son poids en tonnes. Lorsqu'il s'agit de trains remorqués par locomotive et de vitesses inférieures à 60 km : h on peut négliger le terme en v^2; ainsi la formule $r = 1{,}80 + 0{,}08\, v$ adoptée par les ingénieurs de l'Est français donne une approximation suffisante.

D'après les calculs de M. L'Hoest basés sur la connaissance de la puissance absorbée par une automotrice électrique et celle du rendement du moteur, la formule précédente n'est pas applicable aux voitures isolées. Même aux faibles vitesses de 30 à 40 km : h la résistance de l'air joue un rôle important et la résistance à la traction d'une automotrice de

(1) Comme dans le système Ayrton et Perry le courant était amené à la voiture par un troisième rail divisé en segments. Ce rail était placé à fleur de sol, entre les deux rails de roulement; chaque tronçon avait une longueur de 3 à 4 m. Il était formé par deux bandes de fer parallèles séparées par un corps non magnétique, du bois par exemple. La voiture portait un fort aimant ou un électroaimant dont les pôles se trouvaient respectivement au-dessus et à une faible distance des deux bandes de fer. Celles-ci se trouvaient ainsi aimantées et elles attiraient une pièce de fer doux dont le mouvement servait à mettre le rail en communication avec le conducteur d'alimentation. Deux balais fixés au châssis de la voiture et glissant sur les deux bandes amenaient le courant au moteur; le retour s'effectuait par les rails de roulement.

Comme on le voit, ce système est à peu de chose près le système Dolter: les tronçons du rail d'alimentation du premier sont remplacés dans le dernier par une barre de frottement, les balais fixés à la voiture sont remplacés par les pavés de contact; quand au dispositif de fermeture et de rupture du courant il est, dans les deux systèmes, basé sur le même principe.

6,5 m² environ de surface d'attaque est alors exprimée par la formule

$$r = 1{,}80 + 0{,}04v + \frac{0{,}0415v^2}{T} \pm m.$$

M. le colonel Renard a fait remarquer, dans une des séances ultérieures, que cette formule s'accorde parfaitement avec les résultats d'expériences faites au parc aérostatique de Chalais sur la résistance opposée par l'air au déplacement d'une surface plane. En effet, si l'on exprime v en mètres par seconde au lieu de l'exprimer en kilomètres à l'heure, le coefficient du terme en v^2 devient 0,54 et l'on a $r\,T = R = 0{,}54\,v^2$ pour la résistance due uniquement à l'air. Or M. Renard a obtenu pour la résistance d'un plan mince de 1 m² de surface $R' = 0{,}085\,v^2$. En divisant R par R′ on obtiendra donc la surface sur laquelle s'exerce la résistance de l'air. On trouve ainsi 6,35 m², nombre différant très peu de celui qui exprime la surface de la section transversale de la voiture utilisée dans les essais belges.

Cette coïncidence des résultats d'essais très différents mais dans lesquels on a fait usage de mesures électriques montre tout le parti que l'on peut tirer de l'électricité dans ce genre de recherches.

Le colonel Renard a ensuite donné quelques chiffres provenant d'expériences conduites à Chalais et qui font voir l'importance de la forme de l'avant et de l'arrière pour les véhicules rapides sur rails ou sur routes.

(A suivre.)

J. Blondin.

LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE ET LA FORCE MOTRICE DANS LES THÉATRES, par L. Mornat

Des causes principales qui peuvent occasionner l'incendie. — Lorsqu'il se produit des incendies dans les théâtres ou concerts, comme il en arrive malheureusement trop souvent, les commissions chargées des enquêtes sur les causes des incendies concluent le plus souvent que le sinistre est dû à un court-circuit.

Un court-circuit n'est pas si dangereux que l'on pourrait bien le croire, surtout lorsqu'on marche à basse tension, 110 volts, comme on marche dans la presque totalité des théâtres.

Un court-circuit se produisant sur une ligne occasionne en effet la fusion d'un plomb qui se trouve placé sur un *coupe-circuit;* cet appareil, qui est monté sur porcelaine, marbre ou ardoise, est par cela même incombustible ; il est de plus protégé du toucher par une boîte ou couvercle le plus souvent vitré, ce qui permet de vérifier si les plombs sont bien intacts ou si rien d'anormal ne se produit ; en outre il est généralement placé dans un endroit très accessible et par conséquent éloigné de toutes matières inflammables.

Avec un coupe-circuit de 100 ampères, 110 volts, il nous sera facile de faire intentionnellement un court-circuit : le plomb fondra et tombera dans le coffret qui protège le coupe-circuit, mais il ne peut pas occasionner d'incendie.

Ce n'est donc pas toujours les court-circuits qui sont cause des sinistres ; il faut donc attribuer la cause à d'autres phénomènes.

Si nous examinons de près l'installation d'un théâtre, nous verrons tout de suite, que ce que l'on attribue aux court-circuits est dû à autre chose.

Les vices de contact. — Dans l'installation de lumière des théâtres, nous avons des canalisations un peu partout ; si par les trépidations ou autres raisons quelconques sur une canalisation desservant une assez grande partie du théâtre, les vis ou boulons d'un des coupe-circuits placés sur cette ligne ou même le coupe-circuit principal se trouvent desserrés, il se produira un mauvais contact qui déterminera un échauffement du fil ou câble à un tel point que par conductibilité calorique il enflammera l'enveloppe de caoutchouc qui l'entoure et deviendra un tison pour l'incendie.

Ces mêmes inconvénients pourront aussi être imputés aux épissures : lorsque les deux extrémités d'un fil ou câble épissées ensemble ne sont pas bien homogènes, nous aurons aussi des défauts de contacts et d'échauffements, etc.

Il arrive même parfois (et ceci si le défaut n'est pas constaté) que par suite de l'échauffement et du refroidissement successifs du câble, par suite de l'allumage ou de l'extinction des circuits, le fil finira par se rompre à l'épissure. Lorsque le courant sera mis sur la ligne il n'y aura point de contact entre les deux extrémités qui seront toujours maintenues sous la même gaine par leur enveloppe commune, ce qui empêche de voir la cassure. Le défaut de contact établit un arc entre les deux extrémités ; cet arc enflamme le caoutchouc, *matière très inflammable*, et communique le feu à toute la ligne et aux boiseries avoisinantes avec une grande rapidité. Ce qui se produit sur un circuit principal pourra se produire également sur un circuit de dérivation et lorsque ce circuit se trouvera en moulure le danger sera plus grand.

De l'installation. — Lorsque les câbles sont dans un endroit humide ou à proximité d'une canalisation d'eau ou de gaz, il se constitue une sorte de pile, *soit un effet d'électrolyse*, qui fait déposer sur les câbles des couches de sels rongeurs qui les rongent complètement. Lorsque les câbles commencent à s'attaquer, ils diminuent de section ; et la section n'étant plus suffisante pour l'intensité normale qui doit y passer, il arrive ce qui nous arrive avec les mauvais contacts, c'est-à-dire échauffement et inflammation de l'enveloppe qui fait le foyer de l'incendie.

Des appareils à lumière. — Nous avons vu que les mauvais contacts et les défauts d'installation pouvaient occasionner des incendies. Nous ne parlerons pas des défauts d'isolement ; il en est pour les théâtres comme pour toutes les autres installations électriques, les dangers en sont les mêmes, sinon plus dangereux à cause des décors.

Mesures nécessaires. — *Les contacts.* — Pour obvier à tous les inconvénients, il faudrait n'admettre aucun coupe-circuit interrupteur ou autres appareils supérieurs à 5 ampères, que munis d'un double écrou pour empêcher les trépidations de le desserrer.

Vérifier très souvent les contacts des coupe-circuits interrupteurs, boîtes de branchement et de jonction et divers appareils employés.

Faire passer dans ces appareils, lorsqu'on les vérifie, le maximum de débit et voir s'ils chauffent.

Installations. — Tous les câbles et principaux fils de dérivation devront être montés sur des isolateurs en porcelaine, marbre ou autre matière isolante et incombustible.

Les circuits devront être isolés le plus possible du mur et environ à 20 cm de toute canalisation de gaz et d'eau.

Employer de préférence des fils très bien isolés et surtout avec guipure d'amiante. Les épissures devront être soudées ; pour les souder, on ne devra, sous aucun prétexte, se servir, pour décaper, de l'esprit de sel, qui ronge le fil et finira par le casser ; si l'on doit décaper le fil, on emploiera de la résine dissoute dans de l'alcool à brûler ou alors la bougie.

On devra de préférence, et lorsque ceci sera possible, employer des boîtes du type « Edison » et pour les petits fils, où l'on ne peut que souder difficilement, des petits pince-fils. Il sera toujours plus facile de vérifier les boîtes de jonction ou les pince-fils que de vérifier une épissure qui serait recouverte de caoutchouc et toile chatertonnée.

Les circuits devront être bien apparents et surtout bien distincts. Les circuits principaux seront tous amenés à un tableau en marbre ou ardoise, placé dans une salle spéciale, dont les gens du service électrique auront seuls l'accès. Cette cabine sera construite de façon à être incombustible (tapissée de carton d'amiante).

Les circuits principaux seront pourvus :

1° D'un coupe-circuit à l'un des pôles ;

2° D'un coupe-circuit magnétique de maxima à l'autre pôle.

Le tableau devra être monté de façon à pouvoir vérifier le débit de chaque circuit, au moment où l'on voudra pour cette opération : on aura un ampèremètre apériodique et une fiche que l'on

mettra à volonté sur chaque circuit ; ceci n'empêchera pas d'avoir un ampèremètre pour le débit total.

Le tableau sera pourvu : 1° d'un indicateur de terre ; 2° d'un parafoudre.

Les sections seront calculées de façon à ne faire passer que 2 ampères par millimètre carré de section.

Les tableaux secondaires seront placés en des endroits accessibles et aussi aérés que possible. Pour l'éclairage de l'intérieur du théâtre on placera les tableaux autant que possible à chaque étage.

A ces tableaux secondaires seront placés des indicateurs d'échauffement qui correspondront par une sonnerie d'alarme à la cabine du tableau principal.

Jeux d'orgue. — Pour les jeux d'orgue, partie des plus intéressantes dans un théâtre, il importe surtout d'y apporter un grand soin ; on ne saurait être trop exigeant. La partie électrique comprenant les jeux de commutateurs, interrupteurs, résistances, sera surtout à examiner.

Un soin tout spécial sera apporté au choix des appareils, surtout au point de vue des contacts et du maniement.

Les résistances liquides seront surtout évincées pour les mauvaises odeurs qu'elles répandent et pour les désagréments du fonctionnement.

On prendra de préférence des résistances métalliques en fil argentan ; le ferro-nickel sera repoussé par suite du trop grand dégagement de chaleur et de la variation des résistance que cela produit à section égale.

Les résistances et contacts avec bains de mercure seront aussi repoussés : le mercure se volatilise au contact de l'air, dégage une odeur qui est très malsaine et désagréable ; de plus, lorsque les fils de maillechort trempent dans le mercure, il peut se produire des étincelles et très souvent des projections de mercure, ce qui est très dangereux.

Le fil de maillechort après avoir trempé un certain laps de temps dans le mercure, finit par diminuer de section et même par se couper complètement, par la raison que le mercure attaque tous les métaux, *sauf le fer* ; de là, rupture du fil et projection du mercure dont nous parlions plus haut.

Le ferro-nickel ne sera pas aussi vite rongé par le mercure, qui a moins de prise sur lui que sur le maillechort, par suite de sa composition ; mais il s'oxyde bien plus vite que ce dernier, et alors par suite de l'oxydation nous tomberons dans les mêmes inconvénients.

Le maillechort argentan paraîtrait seul pouvoir répondre aux exigences demandées, à la condition toutefois que l'on observe bien les règles des sections, c'est-à-dire de ne pas faire passer plus de trois ampères par millimètre carré de section.

L'installation des résistances aura besoin d'un grand soin ; on devra y apporter toute son attention pour éviter les contacts à la masse et à la terre et avec une grande surface de refroidissement.

Un indicateur de terre devra être placé de façon à prévenir aussitôt qu'une terre se produira.

Avec du soin et de l'entretien, une installation faite de la sorte ne présente aucun danger.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

GÉNÉRATION

Station centrale d'électricité de Nancy.

La station centrale d'Éclairage de Nancy comprend un groupe électrique fourni par la Compagnie Générale Électrique de Nancy, et constitué par deux dynamos multipolaires type D. 300 qui sont calées sur le même arbre d'une machine compound tandem de MM. Carels frères de Gand. Ce groupe est représenté en figure 1.

L'ensemble de l'installation des deux dynamos est représenté par les figures 2 à 5 sur les-

quelles, pour montrer les détails de fondation, l'arbre est représenté coupé et l'une des dynamos enlevée. Les deux dynamos sont d'ailleurs tout à fait semblables ; chacune d'elles a été établie pour fournir normalement à la vitesse angulaire de 90 tours à la minute, 250 volts et 620 ampères, correspondant à une charge de 155 kilowatts par machine.

L'inducteur de chacune d'elles est en acier coulé et présente 10 noyaux polaires, de forme ronde dans le but de faciliter l'exécution et de pouvoir loger le maximum de poids de cuivre utile dans l'emplacement le plus restreint. Les noyaux polaires se terminent par des plaques polaires vissées sur ces noyaux et qui servent, en même temps qu'à maintenir les bobines, à donner à l'entrefer une section du circuit magnétique suffisamment grande.

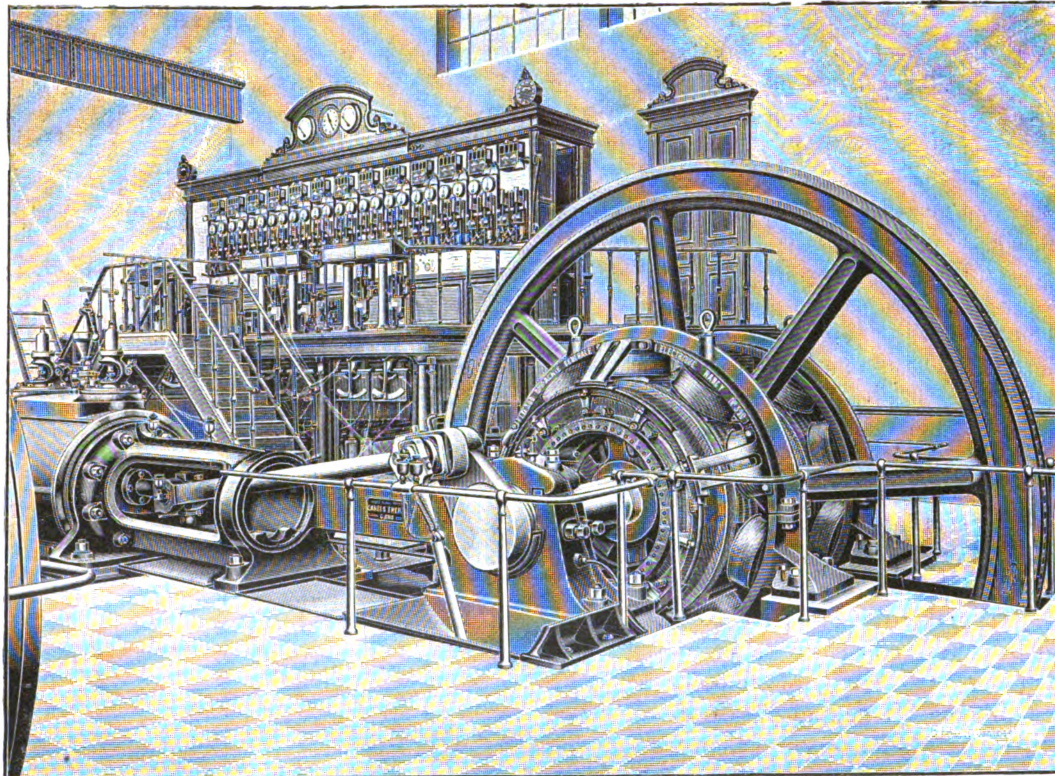


Fig. 1. — Groupe Carels. — Société générale électrique de la station de Nancy.

Les 10 bobines du circuit inducteur sont connectées toutes en série, leur résistance totale est de 17 ohms à froid et d'environ 19 ohms à chaud. Elles sont constituées par un fil de cuivre de 3,8 mm de diamètre nu et 4,3 mm guipé.

Pour assurer à l'inducteur une rigidité mécanique suffisamment grande sans augmenter au-delà du nécessaire le poids de l'acier dont il est constitué, l'inducteur a été coulé avec une nervure extérieure qui lui assure une rigidité à toute épreuve et qui en outre lui donne un aspect très élégant.

Le diamètre d'alésage de l'inducteur est de 181 cm environ et son diamètre extérieur de 263 cm.

L'induit intérieur denté est bobiné en tambour avec un bobinage spécialement étudié en vue de réduire autant que possible la réaction de l'induit et le décalage des balais.

Lors de la réception officielle, ces machines ont été en effet essayées à 800 ampères par collecteur sans trace d'étincelles ni décalage, charge qui est supérieure de 30 p. 10 à la charge normale.

Le diamètre extérieur de l'induit atteint 180 cm et sa largeur totale 69 cm.

Chaque encoche porte deux conducteurs pliés en forme de Z sur gabarit et les extrémités des

barres correspondantes sont réunies par des soudures ; ce système de bobinage a l'avantage particulier d'assurer à l'enroulement une rigidité mécanique à toute épreuve et de diminuer de moitié le nombre des soudures qui constituent toujours une partie délicate d'un bobinage. L'ensemble de l'enroulement est maintenu par de fortes frettes en bronze siliceux.

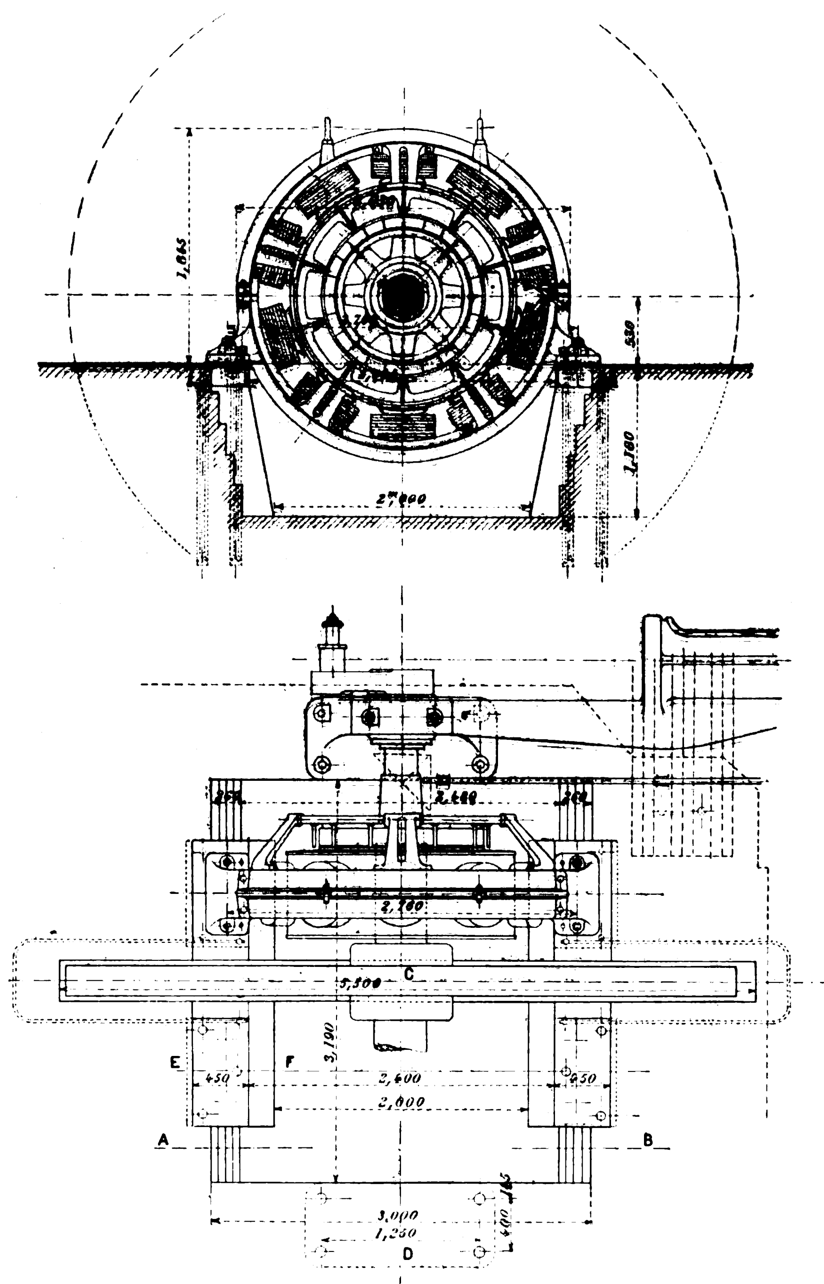


Fig. 2 et 3. — Coupe verticale et vue en plan d'un groupe électrogène de la station de Nancy.

Du côté du collecteur, la boucle qui réunit les extrémités des conducteurs est prolongée sous forme d'une lame qui vient directement se placer dans une lamelle correspondante du collecteur. Celui-ci est constitué par des lames en cuivre étirées au banc et il est entièrement isolé au

mica. Il est monté par emmanchement conique et il est supporté par une douille qui est directement fixée sur les bras du croisillon de l'induit, de sorte que l'ensemble de l'induit et du collecteur constitue un tout.

Le diamètre du collecteur est de 130 cm.

Les frotteurs qui sont en charbon sont maintenus par une couronne en fonte supportée elle-même par cinq bras fixés sur la couronne de l'inducteur.

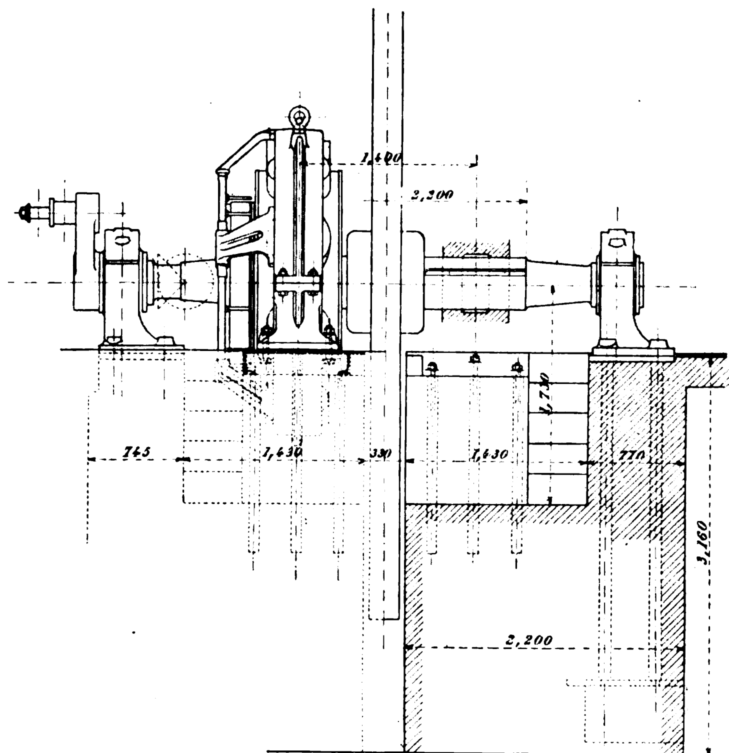


Fig. 4. — Coupe verticale suivant l'axe.

Les connexions reliant les 5 tiges de balais de même polarité sont placées d'un côté de la couronne, les connexions de l'autre pôle se trouvent logées de l'autre côté ; cette disposition a l'avantage d'assurer un isolement parfait et évite toute chance de contact entre les deux pôles.

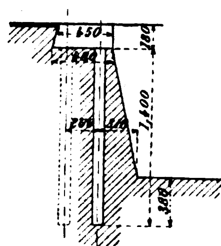


Fig. 5.

A l'aide de deux attache-câbles à serrage conique, le courant est amené à la plaque portant les bornes, laquelle est fixée sur le bord de la fosse.

Pour pouvoir déplacer aisément la couronne des porte-balais, celle-ci est reliée à l'inducteur par une tige à double écrou portant un volant pour la manœuvre ; à l'aide de ce volant on déplace avec la plus grande facilité l'ensemble des balais.

La distance entre les plans médians des deux dynamos n'est que 1,4 m et celle entre les barres des induits 70 cm. Ce dernier espace est occupé par le volant de la machine à vapeur, volant dont la largeur est de 25 cm et le diamètre de 2,60 m. J. R.

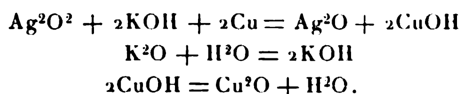
Eléments primaires ou secondaires Jungner à électrolyte de conductibilité invariable. Brevet allemand 110 210 du 31 mars 1899. *Centralblatt für Accumulatoren und Elementenkunde*, t. I, p. 151.

Ernst-Waldemar Jungner brevète des élé-

ments dans lesquels l'électrolyte ne varie ni dans sa composition, ni dans sa concentration. Pour atteindre ce but, il est nécessaire que l'électrolyse ne décompose en ses éléments que le solvant, l'eau. L'auteur emploie à cet effet les hydrates dont les radicaux métalliques décomposent l'eau, tels que potasse, soude, etc. Comme matières actives, il prend les métaux dont les combinaisons hydroxylées ne peuvent pas exister dans l'électrolyte et se décomposent en oxyde et eau ; celles-ci doivent également être insolubles dans l'électrolyte. Les supports les mieux appropriés sont ceux en nickel ou en cuivre dont les oxydes sont insolubles dans les alcalis.

Un élément peut être ainsi construit : l'électrode positive est un support en nickel empâté de peroxyde d'argent pulvérisé, mélangé d'un ciment ; l'électrode négative est un support en cuivre dans lequel on comprime du cuivre finement divisé. Les électrodes sont placées dans un récipient en ébonite et séparées par un mince papier d'amiante imprégné de solution alcaline. Le bac est formé par un couvercle muni d'un trou pour l'échappement des gaz, bien que ceux-ci n'apparaissent que dans le cas de surcharge.

A la décharge, on obtient les réactions suivantes :



$$Ag^2O^2 + 2KOH + 2Cu = Ag^2O + 2CuOH$$
$$K^2O + H^2O = 2KOH$$
$$2CuOH = Cu^2O + H^2O.$$

La force électromotrice correspondante à ce couple est 0,93 volt.

S'il reste encore du cuivre, la réduction de Ag^2O peut continuer et il se forme

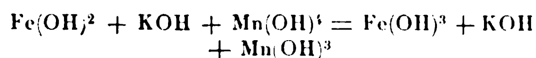


$$Ag^2O + 2KOH + 2Cu = Ag^2 + 2KOH + Cu^2O$$

et la force électromotrice de ce nouveau couple est 0,65 à 0,70 volt.

Par le courant de charge, les réactions ci-dessus se produisent en sens inverse.

Avec un élément composé d'oxyde ferreux au négatif et de bioxyde de manganèse au positif, la réaction reversible est



$$Fe(OH)^2 + KOH + Mn(OH)^4 = Fe(OH)^3 + KOH + Mn(OH)^3$$

et l'auteur annonce pour ce couple une énergie spécifique de 40 à 50 watts-heure par kg de poids total et une puissance spécifique de 5 à 10 watts par kg de poids total.

Il attribue à ces éléments une résistance intérieure très faible par suite de la couche mince d'électrolyte entre les plaques, une durée très grande par suite de la faible variation de volume des matières actives en charge et en décharge. De plus l'absence d'actions secondaires et d'actions chimiques locales assureraient la conservation de charge à ces accumulateurs qui seraient également insensibles à la température.

L. J.

TRACTION ÉLECTRIQUE

Transporteur électro-automatique Dubs et Laffitte.

Dans une conférence faite le 17 mai dernier à la Société scientifique et industrielle de Marseille, M. Hans Dubs, sous-directeur des Tramways de Marseille et M. Léon Laffitte, directeur de la Station centrale d'électricité de l'étang de Berre, décrivaient un nouveau système de transporteur, de leur invention, destiné à un transport automatique et à grande vitesse des marchandises et objets légers, des lettres, cartes, etc., en un mot de tout ce qui est actuellement transporté par les soins des administrations postales.

Ce système comprend : une ligne à double voie en viaduc, des véhicules automoteurs circulant sur cette ligne et les appareils commandant le mouvement de ces véhicules.

Voie. — Le viaduc (fig. 1 et 2) est formé de trois poutres longitudinales en treillis, assemblées entre elles et soutenues, à 3 m environ au-dessus du sol, par des pylones. Sur ces poutres sont disposées les traverses sur lesquelles reposent les rails ; ceux-ci sont du poids de 10 à 12 kg par mètre courant et sont écartés de 60 à 70 cm. Les conducteurs de prise de courant des automoteurs sont établis sur isolateurs fixés sur les traverses entre les deux rails de chaque voie ; les feeders d'alimentation sont installés sur le côté des poutres métalliques. L'ensemble de la voie est protégé contre les intempéries par un toit en tôle amovible ; une passerelle de visite, établie sur consoles à la hauteur des voies, longe l'infrastructure métallique sur tout le parcours de la ligne.

Véhicules. — Les véhicules automoteurs sont constitués par des caisses en tôle, munies de deux ou quatre essieux, portant directement, sans aucun organe de transmission, les moteurs électriques destinés à actionner les véhicules. Les roues ont un diamètre de 60 cm environ, ce qui, à la vitesse de 250 km à l'heure, correspond à une vitesse de rotation des essieux de 2 200 tours : minute.

Le compartiment central de la caisse, réservé aux colis, a une contenance de 500 dm³. Deux autres compartiments, situés l'un à l'avant, l'autre à l'arrière du véhicule, sont réservés aux appareils de mise en marche et d'arrêt automatiques.

La prise de courant se fait par frotteurs ou galets ; ces organes sont en double, à l'avant et à l'arrière.

La longueur totale d'un véhicule est de 5,50 m à 6 m, le poids total de 1 000 kg au maximum pour une charge utile de 100 kg.

Afin de réduire la résistance de l'air, considérable à ces vitesses élevées, l'avant et l'arrière du véhicule sont munis de coupe-vents paraboliques.

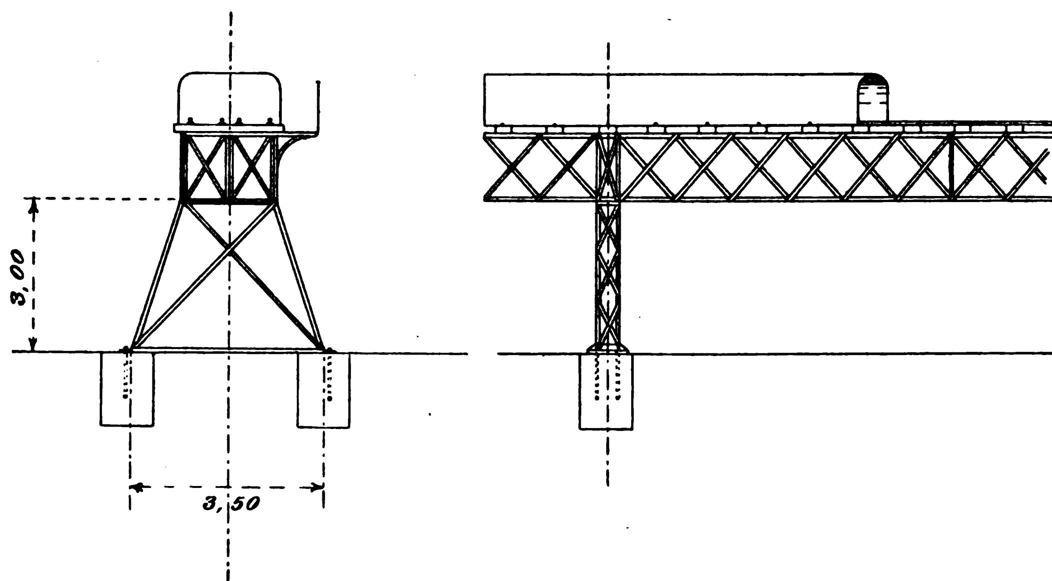


Fig. 1 et 2. — Coupe transversale et élévation des voies sur pylônes.

Appareillage électrique. — *Appareil de mise en marche.* — L'appareil de mise en marche (fig. 3) est constitué par un régulateur à force centrifuge R, actionné par l'essieu *a* au moyen du pignon *p* et de l'arbre *e*. La douille de ce régulateur commande le levier *l*, mobile autour de l'axe fixe *f* d'un rhéostat à touche *r*, intercalé dans le circuit du moteur. Le régulateur R est ajusté de telle sorte qu'à l'arrêt, le levier du rhéostat se trouve sur la touche 1 ; les spires du rhéostat sont alors toutes intercalées sur le circuit, et aussitôt que le courant électrique arrive de la ligne par les frotteurs K et K', le moteur M se met en marche. A mesure que la vitesse augmente, la douille *d* du régulateur se déplace sur l'arbre *e* et fait avancer le levier du rhéostat sur les touches 2, 3, 4, etc., jusqu'à la touche *n*, correspondant à la mise hors-circuit du rhéostat et à la vitesse normale du moteur.

Au moment où le courant est supprimé sur la ligne, le moteur M cesse de fonctionner, la vitesse du véhicule diminue et le régulateur R ramène graduellement le levier *l* jusqu'à la touche 1 du rhéostat ; l'appareil est alors prêt pour un nouveau démarrage.

Appareil d'arrêt automatique. — L'appareil d'arrêt automatique (fig. 4) se compose d'un solénoïde ou électroaimant S, excité en dérivation par le courant de la ligne. L'armature *a* de cet appareil est équilibrée par un ressort P, et ces deux organes sont attelés sur un levier principal L mobile autour du point fixe *f*, et

commandant les sabots de frein s et s' au moyen des leviers intermédiaires l et l'. Sur le prolongement du levier L se trouve attelé le piston du cylindre amortisseur réglable p.

Aussitôt que le courant circule dans la ligne,

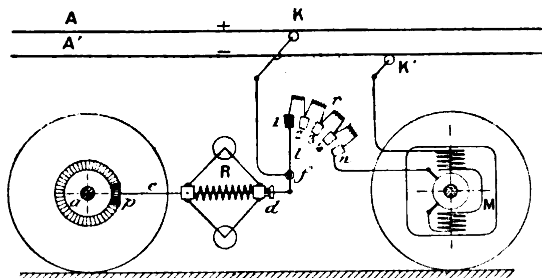


Fig. 3. — Appareil de mise en marche.

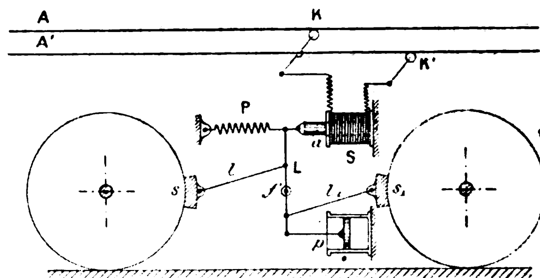


Fig. 4. — Appareil d'arrêt.

le solénoïde ou électro S se trouve excité, il attire l'armature a, tend le ressort P et, en agissant sur le levier L, débloque les sabots de frein s et s'. L'appareil de mise en marche entrant en fonction simultanément, le véhicule démarre.

Si le courant vient à être supprimé sur la ligne, le solénoïde ou électro S devient inactif, le ressort P agit sur le levier L et amène le blocage des sabots de frein s et s', produisant ainsi l'arrêt du véhicule. La vitesse de serrage peut être réglée par le cylindre amortisseur p.

Block-système automatique. — La ligne est divisée en sections. La longueur des sections est établie proportionnellement à l'intervalle qui doit séparer deux véhicules marchant dans le même sens.

L'énergie électrique est amenée aux frotteurs KK' des véhicules au moyen d'un conduc-

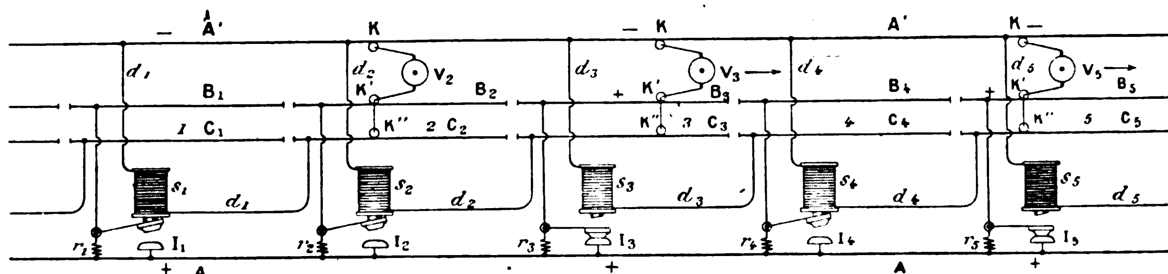


Fig. 5. — Appareil de block-système.

teur fixe continu A' (fig. 5) et d'un conducteur sectionné B_1, B_2, B_3... B_n, alimenté lui-même par le conducteur fixe A au moyen de connexions passant par les interrupteurs I_1, I_2, I_3, I_5,... I_n.

Un deuxième conducteur sectionné, C_1, C_2, C_3, C_4,... C_n est disposé parallèlement au conducteur B_1, B_2,... B_n.

Les interrupteurs I_1, I_2,... I_n sont commandés par des solénoïdes ou électroaimants s_1, s_2, s_3,... s_n, ces appareils étant excités par des circuits dérivés $C_2 d_1 A_1$; $C_3 d_2 A_1$;... $C_n d_{n-1} A_1$; chaque véhicule porte un troisième frotteur K'', en connexion électrique avec le frotteur K', et glissant sur le conducteur sectionné $C_1, C_2, \ldots C_n$.

Lorsqu'aucun véhicule ne se trouve sur la ligne, tous les interrupteurs I_1, I_2,... I_n sont fermés et le conducteur sectionné B_1 se trouve ainsi en communication avec A. Mais lorsqu'un véhicule se trouve sur une section, par exemple sur la section 5, il s'établit un courant dérivé par A, I_5, B_5, K' K'', C_5, d_4, s_4, d_4.A' qui a pour effet d'ouvrir l'interrupteur I_4 par l'action de l'électro s_4. La section 4 se trouve donc isolée du circuit, et un véhicule s'engageant dans cette section s'arrêterait immédiatement par l'action de l'appareil d'arrêt automatique.

Aussitôt que le véhicule V_5 sera sorti de la section 5, l'électro s_4 cessera d'être excité, l'interrupteur I_5 se fermera et le véhicule se

trouvant arrêté sur la section 4, reprendra sa marche.

Un véhicule, par exemple V_2, ayant passé par la force vive d'une section active 1, sur une section inactive 2, où il s'arrêtera, bloquera de même la section 1 qu'il vient de quitter, l'électro s_1 se trouvant actionné par une dérivation A, r_2, B_2, K″K″, C_2, d_1, s_1 d_1, A′, la résistance r_2 étant calculée de façon à ne laisser passer qu'un courant suffisamment fort pour actionner S_1, mais trop faible pour actionner le solénoïde de l'appareil d'arrêt du véhicule V_1 et son moteur.

Deux véhicules marchant dans le même sens ne pourront donc jamais se suivre avec un intervalle inférieur à celui correspondant à la longueur d'une section; tout risque de tamponnement est par suite évité.

Le conducteur A peut être commun aux dispositions électriques de la voie d'aller et de la voie de retour.

Les schémas ci-dessus sont établis dans l'hypothèse d'un courant continu. En réalité, il est fait usage de courants triphasés, les moteurs des véhicules étant du type asynchrone, ce qui permet d'obtenir une vitesse pratiquement constante, et de supprimer les organes délicats des moteurs à courant continu, collecteurs et balais. Pour ces courants les dispositions des conducteurs formant le block-système automatique sont analogues, sans grande complication. L'un des trois conducteurs est constitué par les rails.

Dépense d'énergie. — D'après les calculs des inventeurs, la puissance nécessaire pour faire mouvoir les véhicules avec une vitesse de 250 km : h, serait, en tenant compte de la résistance de l'air, de 45 chevaux environ en palier et de 60 chevaux sur une rampe de 20 mm par mètre ; ils adoptent une moyenne de 50 chevaux. Cette puissance serait fournie par des stations éloignées de 40 à 50 km au plus, la tension aux bornes des moteurs des véhicules ne devant pas dépasser 300 volts pour la sécurité du service.

Les inventeurs estiment que, dans ces conditions, l'emploi du système serait très rémunérateur pour le transport rapide des divers objets qui sont transportés par le service des Postes.

J. R.

Détermination de la puissance motrice exigée par une automobile, par **S.-A. Montel**, ingénieur à Turin. Communiqué par l'auteur.

Considérons pour un instant une automobile parcourant une route en palier.

Les forces qui s'opposent à sa marche sont de diverses natures. Quelques-unes, comme le frottement des tourillons et d'autres organes de l'automobile ainsi que le frottement des roues sur le sol, peuvent être considérées comme indépendantes de la vitesse. D'autres, c'est-à-dire la résistance produite par l'air et celle produite par les chocs contre le terrain, sont regardées comme étant proportionnelles au carré de la vitesse. Appellons v la vitesse de l'automobile à l'instant t, f la somme des forces indépendantes de la vitesse et φv^2 la somme des autres forces. La force totale s'opposant à la marche de l'automobile sera par suite exprimée par $f + \varphi v^2$.

Si la route est inclinée il faudra aussi considérer une autre force f' qui est la composante parallèle à la route du poids de l'automobile. Quelle que soit la direction de la marche (en rampe ou en pente) nous ne nous occuperons que des cas où la force résultante

$$F = f + \varphi v^2 \pm f'. \qquad (1)$$

est opposée à la direction du mouvement; c'est-à dire que dans le cas de la marche en pente nous supposerons toujours avoir

$$f' < f + \varphi v^2.$$

Cela posé, considérons une automobile se déplaçant à une vitesse V ; si nous lui supprimons sa force motrice, l'automobile, après un certain temps, s'arrêtera. En désignant par p le poids total de l'automobile, et par g l'accélération due à la gravité terrestre, on aura à chaque instant

$$\frac{p}{g}\frac{dv}{dt} + F = 0, \qquad (2)$$

où $\frac{dv}{dt}$ représente la diminution de vitesse par unité de temps due à la force F.

Il s'agit de déterminer F.

De (1) et de (2) on déduit

$$-\frac{p}{g}\frac{dv}{f \pm f' + \varphi v^2} = dt \qquad (3)$$

ou

$$-\frac{p}{g\sqrt{\varphi(f\pm f')}}\frac{d\left(v\sqrt{\frac{\varphi}{f\pm f'}}\right)}{1+\frac{\varphi}{f\pm f'}v^2}=dt$$

$$-\frac{p}{g\sqrt{\varphi(f\pm f')}}\text{arc tg } v\sqrt{\frac{\varphi}{f\pm f'}}=t+\text{const.} \quad (4)$$

La constante est déterminée par la condition que pour $t=0$ on ait $v=V$; on trouve alors pour l'équation.

$$\text{arc tg } v\sqrt{\frac{\varphi}{f\pm f'}}=\text{arc tg } V\sqrt{\frac{\varphi}{f\pm f'}}-\frac{gt}{p}\sqrt{\varphi(f\pm f')} \quad (5)$$

Comme d'autre part, après un certain temps $t=t_0$, on doit avoir $v=0$, l'équation (5) nous donne

$$\text{arc tg}\frac{V}{\sqrt{f\pm f'}}\sqrt{\varphi}=\frac{gt_0\sqrt{f\pm f'}}{p}\sqrt{\varphi} \quad (6)$$

Or, il est facile de déterminer par expérience l'intervalle de temps t_0 que met la voiture à s'arrêter lorsque, lancée avec une vitesse V, facilement évaluable aussi, la force motrice est brusquement supprimée ; par conséquent, l'égalité précédente nous fournit une relation entre $f\pm f'$ et φ.

Supposons pour un instant qu'on connaisse $f\pm f'$ et montrons comment on peut en déduire la valeur de φ.

Si nous posons

$$\frac{V}{\sqrt{f\pm f'}}=\alpha,\quad \frac{gt_0\sqrt{f\pm f'}}{p}=\beta,\quad \sqrt{\varphi}=x,$$

la relation (6) donne l'équation suivante

$$\text{arc tg } \alpha x-\beta x=0$$

que l'on résoudra par approximations successives.

Pour cela nous écrivons

$$\text{arc tg } \alpha x-\beta x=y.$$

En donnant à x une variation très petite, y variera de

$$dy=\left(\frac{\alpha}{1+\alpha^2x^2}-\beta\right)dx;$$

d'où

$$dx=\frac{dy}{\frac{\alpha}{1+\alpha^2x^2}-\beta}.$$

On trouve ainsi la variation de x correspondant à la variation de y. Ici dy est la différence entre la valeur (zéro) que doit avoir l'expression et celle qu'elle prend, pour une valeur provisoire donnée à x. Après avoir calculé le dx correspondant, on donne à x la valeur $x+dx$ et on a une nouvelle valeur de y ; l'on continue jusqu'à ce que l'on ait l'approximation désirée.

Voyons maintenant comment on peut déterminer $f\pm f'$.

S'il n'est question que de vitesses petites ou moyennes, φv^2 est négligeable à côté de f et a fortiori à côté de $f+f'$, mais il se peut que φv^2 ne soit pas négligeable à côté de $f-f'$. Admettons pour un instant que φv^2 soit négligeable à côté de $f\pm f'$. Alors l'équation (2) se réduit à

$$\frac{p}{g}\frac{dv}{dt}+f\pm f'=0: \quad (7)$$

d'où l'on tire

$$v=-\frac{g}{p}(f\pm f')t+\text{const.}$$

En appelant V' la vitesse (pas très grande) de l'automobile à l'instant où on lui supprime la force motrice, nous avons la condition $v=V'$ pour $t=0$. Par conséquent la constante d'intégration est égale à V' et l'on a

$$v=V'-\frac{g}{p}(f\pm f')t. \quad (8)$$

En exprimant qu'après un certain temps t' la vitesse de l'automobile devient nulle, on déduit de l'équation (8)

$$f\pm f'=\frac{V'}{t'}\frac{p}{g}, \quad (9)$$

relation qui permet de déterminer $f\pm f'$.

D'après l'hypothèse faite plus haut il est évident que cette détermination sera d'autant plus exacte que l'inclinaison de la route sera plus faible. Mais si l'on effectue les essais dans ces conditions, il peut arriver que l'on ne puisse reconnaître au premier coup dans quel sens la route est en rampe ou en pente, et cependant cette connaissance est nécessaire pour déterminer comme nous allons le voir la valeur de f et celle de f'. Heureusement l'équation (9) nous fournit un moyen de déterminer ce sens. Il suffit pour cela de mesurer le temps t' au bout duquel la voiture lancée dans un sens avec une vitesse V'

s'arrête d'elle-même et le temps t'_1 que met la voiture pour s'arrêter lorsqu'elle a été lancée en sens contraire avec une vitesse V'_1. On a alors

$$f \pm f' = \frac{V'}{t'} \frac{p}{g}$$

$$f \mp f' = \frac{V_1'}{t_1'} \frac{p}{g}$$

et suivant que $\frac{V'}{t'}$ sera plus grand ou plus petit que $\frac{V_1'}{t_1'}$,

$f \pm f'$ sera supérieur ou inférieur à $f \mp f$, ce qui donne le signe de f' et par conséquent le sens de la pente.

Ce sens étant connu, il est facile de déterminer séparément f et φ. En effet, faisons successivement deux essais dans le sens de la rampe, l'un en supprimant la force motrice lorsque la voiture a une grande vitesse V, l'autre lorsque la voiture a une faible vitesse V_1, puis faisons deux autres essais semblables dans le sens de la pente ; les équations (6) et (9) nous donnent

$$\text{arc tg} \frac{V}{\sqrt{f+f'}} \sqrt{\varphi} = \frac{gt}{p} \sqrt{f+f'} \sqrt{\varphi} \qquad (a)$$

$$f + f' = \frac{V'}{t'} \frac{p}{g} \qquad (b)$$

$$\text{arc tg} \frac{V_1}{\sqrt{f-f'}} \sqrt{\varphi} = \frac{gt_1}{p} \sqrt{f-f'} \sqrt{\varphi} \qquad (c)$$

$$f - f' = \frac{V_1'}{t_1'} \frac{p}{g} \qquad (d)$$

Si l'inclinaison de la route est faible, la relation (d) pourra être considérée comme suffisamment exacte aussi bien que la relation (b). Alors en additionnant, puis en soustrayant (b) et (d), on aura séparément f et f'. Si l'on ne peut considérer (d) comme suffisamment exacte on déduira $f - f'$ de (c) et puis à l'aide de (b), on aura encore séparément f et f'. Quant à φ il est alors donné par (a) ou par (c).

Une fois trouvés f, f', φ, la puissance W exigée par l'automobile est connue. Elle est en effet égale au produit de la force F par la vitesse V de l'automobile. On écrira donc en général

$$W = F. V.$$

Pour faire ces épreuves il est nécessaire que la route soit rectiligne et avec une pente constante (ou nulle). Si elle est en outre en très bon état les causes d'erreur sont plus petites et par conséquent l'évaluation de f, φ et W est plus sûre. Si l'on veut comparer entre elles les puissances de plusieurs automobiles, il est indispensable de se mettre toujours dans ces conditions-là.

Remarquons que pour déterminer la vitesse de l'automobile au moment de la suppression de la force motrice, il suffit, si l'on n'a pas d'appareils mesureurs de vitesse à sa disposition, de compter le temps que l'automobile emploie à parcourir un certain espace, espace qui sera en général indiqué par les bornes kilométriques de la route.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

ACADÉMIE DES SCIENCES

Séance du 6 août 1900 (Suite).

Sur l'accouplement des alternateurs au point de vue des harmoniques et effet des moteurs synchrones sur ceux-ci, par **A. Perot.** *Comptes rendus*, t. CXXXI, p. 377-380.

Quelle qu'elle soit, la force électromotrice d'un alternateur peut être représentée, d'après le théorème de Fourier, par l'expression

$$e = E_1 \sin \omega t + E_2 \sin(2\omega t + \varphi_2) + \ldots + E_n \sin(n\omega t + \varphi_n) + \ldots ;$$

$E_1 \sin \omega t$ sera la force électromotrice fondamentale, les autres termes seront les harmoniques. Supposons qu'on ait associé en parallèle avec cet alternateur 1 une seconde machine 2, dont la force électromotrice soit

$$e' = E'_1 \sin \omega t + E'_2 \sin(2\omega t + \varphi'_2) + \ldots, + E'_n \sin(n\omega t + \varphi'_n) + \ldots$$

en supposant les forces électromotrices fondamentales en phase, ce qui pourra être réalisé si les charges relatives des machines sont convenables.

M. Perot cherche la différence de potentiel aux bornes du groupe des deux machines.

Supposons que les forces électromotrices fondamentales et tous les harmoniques soient les mêmes sauf un, d'ordre n, qui n'existe que dans

la machine 1. Le circuit formé par l'ensemble des deux machines sera soumis à la force électromotrice $E_n \sin(n\omega t + \varphi_n)$, et si L et L' sont les self-inductions des deux machines, il y aura entre elles un courant d'échange qui sera, en négligeant les résistances ohmiques,

$$i_n = I_n \cos(n\omega t - \varphi_n), \text{ avec } I_n = \frac{E_n}{n\omega(L + L')};$$

la différence de potentiel aux bornes de l'ensemble des deux machines sera

$$-L' \frac{di_n}{dt} = e_n \frac{L'}{L + L'}.$$

On étendrait facilement le raisonnement au cas où plusieurs harmoniques ne sont pas communs, et à celui où les harmoniques communs n'ont pas les mêmes forces électromotrices, tout en ayant les mêmes phases : la différence de potentiel qui correspond à chacun sera la moyenne des forces électromotrices des alternateurs. Si les phases sont différentes, c'est la moyenne géométrique qui s'introduira, au lieu de la moyenne arithmétique.

Si, au lieu d'avoir deux machines seulement accouplées, on en a un plus grand nombre, p, dont les self-inductions sont égales, la différence de potentiel de chaque harmonique sera le $p^{\text{ième}}$ de la résultante des forces électromotrices.

Dans le cas de trois machines par exemple, si e', e'', e''' sont les forces électromotrices, i', i'', i''' les courants dans les armatures, on aura

$$e' - L \frac{di'}{dt} = e'' - L \frac{di''}{dt} = e''' - L \frac{di'''}{dt};$$

avec

$$i + i'' + i''' = 0.$$

En éliminant i'' et i''', on a

$$e' - L \frac{di'}{dt} = \frac{e' + e'' + e'''}{3},$$

or le premier membre représente la différence de potentiel aux bornes de l'ensemble.

Dans le cas où le groupe débitera un courant i sur le circuit extérieur, l'équation précédente deviendra

$$e' - L \frac{di'}{dt} = \frac{e' + e'' + e''' - L \frac{di}{dt}}{3},$$

expression facile à discuter.

Il faut toutefois remarquer que les harmoniques ne sont guère gênants que lors de l'arrêt ou de la mise en marche du réseau d'utilisation, car c'est à ces moments seuls que la capacité des câbles n'est pas contrebalancée, au moins en partie, par la self-inductinn du reste du réseau et par les moteurs; or, soit à la mise en marche, soit à l'arrêt, généralement une seule machine fonctionne, le danger au point de vue de la résonance ne saurait donc être évité par le couplage en parallèle d'alternateurs différents.

Supposons maintenant un alternateur ayant des harmoniques aux bornes duquel est branché un moteur synchrone de faible puissance, et ayant un self-induction petite vis-à-vis de l'alternateur, l'induit de ce moteur étant lisse et faiblement denté; nous le supposerons excité normalement et marchant à vide. Il va jouer, vis-à-vis de l'alternateur, le rôle d'une machine accouplée dont la force électromotrice serait sinusoïdale, et, par suite, abaisser la différence de potentiel des harmoniques dans le rapport $\frac{l}{L + l}$ si l est sa self-induction et L celle de l'alternateur. Il pourra donc, si le rapport précédent est petit; abaisser beaucoup la différence de potentiel des harmoniques, et ramener la différence de potentiel à être presque sinusoïdale.

Réciproquement si le moteur possède des harmoniques sensibles, il les introduira dans la différence de potentiel.

Le premier résultat a été vérifié sur des machines industrielles de très grande puissance, qu'on a couplées avec une commutatrice de puissance bien inférieure qui n'avait pas été construite dans ce but.

La différence de potentiel des harmoniques surexcités par la mise en dérivation sur l'alternateur de capacités, passe de 8,5 à 3 p. 100 par la mise en route de la commutatrice. Deux commutatrices la ramènent pour la machine seule de 3,5 à 1,3 p. 100.

L'effet serait certainement le même avec des moteurs de puissance plus petite, s'ils étaient calculés de manière à avoir une résistance ohmique faible et une self-induction aussi faible que possible.

Quel serait l'effet d'un moteur asynchrone, se demande ensuite M. Perot ? Ici, il ne peut s'appuyer sur des faits, n'ayant pu faire d'expériences dans ce sens. Toutefois, on peut prévoir que l'effet serait le même : en effet, un moteur asynchrone à vide dont le rotor est maintenu immo-

bile, ou dont la vitesse de rotation est petite relativement à la vitesse de pulsation, peut être assimilé à un transformateur dont le circuit secondaire est fermé sur lui-même. S'il marche à la vitesse du synchronisme, il peut être assimilé à un transformateur dont le secondaire est ouvert, puisque alors le flux coupé par les circuits du rotor ne varie pas. Or, les harmoniques des alternateurs étant d'ordre élevé (11 et 13 en général pour les machines triphasées), on peut, pour ces harmoniques, considérer le rotor comme immobile, la self-induction est petite pour eux, tandis quelle est énorme pour la force électromotrice fondamentale eu égard à celle de l'alternateur.

Les moteurs synchrones à enroulement progressif, et probablement aussi les asynchrones, jouent donc le rôle d'épurateurs, et, dans toute station centrale reliée au réseau par des câbles il sera prudent, pour éviter les effets des harmoniques, de ne procéder à la mise en marche ou à l'arrêt du réseau que sous la protection d'un moteur synchrone, placé à l'usine.

L'effet des commutatrices dont il a été parlé plus haut est à cet égard des plus probants; tandis que, pour la machine seule, le rapport entre la différence du potentiel maximum et le voltage indiqué par un voltmètre thermique est 1,65, il s'abaisse par la mise en marche de deux commutatrices à 1,436, voisin de 1,414, valeur qu'il aurait si la force électromotrice fondamentale existait seule.

Séance du 13 août 1900.

Propriétés des dépôts magnétiques obtenus dans un champ magnétique, par **Ch. Maurain.** *Comptes rendus*, t. CXXXI, p. 410-413.

Les dépôts étaient obtenus par électrolyse à l'intérieur d'une bobine magnétisante disposée près d'un magnétomètre. On pouvait ainsi étudier, d'une part, l'aimantation acquise par les dépôts pendant leur formation dans un champ connu ; d'autre part, sans toucher aucunement aux dépôts ni changer leur position initiale par rapport au magnétomètre, les modifications apportées à cette aimantation initiale par des variations de différentes sortes du champ magnétique.

L'action de la bobine magnétisante sur le magnétomètre était naturellement compensée.

M. Maurain a employé, comme bain, d'abord une solution de sulfate ferreux et de chlorure d'ammonium ; puis, d'après les indications de M. Job, une solution de sulfate ferreux dans le pyrophosphate de sodium, avec laquelle il a toujours obtenu d'excellents dépôts, adhérents et brillants. Les cathodes sont des tiges de laiton, d'environ 50 cm de longueur et 4 cm de diamètre, maintenues dans l'axe de la bobine magnétisante, de manière que leur extrémité inférieur soit dans le même plan horizontal que le centre du miroir du magnétomètre. L'anode est une spirale de fil de platine.

Pendant la formation d'un dépôt, dans un champ constant et avec un courant d'électrolyse d'intensité constante, l'action du dépôt sur le magnétomètre croît sensiblement d'une manière linéaire en fonction du temps, sauf cependant pendant une période initiale de quelques minutes dans laquelle l'action reste insensible; après cette période, la courbe représentant la variation est à peu près rectiligne : cela montre, puisque toutes les conditions de l'électrolyse restent les mêmes, que *l'intensité d'aimantation des différentes couches du dépôt a la même valeur;* l'épaisseur des dépôts (quelques microns) est d'ailleurs restée, dans toutes les expériences, bien inférieure à celle pour laquelle il y aurait eu à tenir compte du champ démagnétisant créé par le dépôt.

Un point important était de comparer les intensités d'aimantation de dépôts obtenus dans des champs magnétisants de valeurs différentes. Pour cela, M. Maurain a fait plusieurs expériences dans des conditions aussi semblables que possible (bains empruntés à une même solution, même intensité du courant d'électrolyse), mais avec différentes valeurs du champ; la comparaison des déviations du magnétomètre en fonction du temps, dans ces différentes expériences, suffisait pour montre que *l'aimantation uniforme qu'acquiert un dépôt croît avec le champ dans lequel le dépôt a été obtenu* [1].

[1] L'auteur a cherché, de plus, à déterminer les valeurs mêmes de l'intensité d'aimantation acquise dans chaque cas : pour cela, il a étalonné le magnétomètre par l'action d'une bobine de dimensions connues, et a déterminé les masses des dépôts, et il a déduit de ces données les valeurs suivantes C.G.S. :

Champ dans lequel a été obtenu le dépôt	0,67	1,30	1,72	2,7	5,7	10,6
Intensité d'aimantation	33,6	43,8	51	118,7	124	166,8

On ne peut espérer pour ces valeurs une bien grande

Lorsque, après que le dépôt a été obtenu dans un champ constant H_0, on fait décroître le champ graduellement jusqu'à o, l'action sur le magnétomètre ne varie que d'une manière très faible ; ainsi *l'aimantation conservée par un dépôt, quand on supprime le champ où il a été produit, est sensiblement égale à l'aimantation qu'il avait acquise sous l'influence de ce champ ;* de plus, cette aimantation résiduelle est très rigide, peu sensible aux chocs.

Lorsque, le dépôt obtenu, on fait croître le champ à partir de H_0, l'aimantation croît; cette augmentation de l'aimantation a une influence relative d'autant plus grande que H_0 est plus faible, et est peu sensible si H_0 est grand. Soit $+ H_m$ la valeur maximum du champ ainsi atteinte ; si l'on fait ensuite décroître le champ, la décroissance de l'aimantation est très lente, même quand le champ est devenu négatif ; ce n'est que pour une valeur $- H_1$, bien supérieure en valeur absolue à H_0 et H_m, que l'aimantation se met à décroître d'une manière notable ; mais elle décroît alors avec une extrême rapidité jusqu'à une valeur $- I_1$ supérieure (en valeur absolue) à celles qu'on avait observées en faisant croître le champ de H_0 à H_m, ou à peu près égale s'il y avait primitivement saturation. Si alors on fait croître de nouveau le champ, on retrouve une nouvelle variation très lente de l'aimantation, puis une augmentation très rapide pour une valeur voisine de $+ H_1$, jusqu'à une valeur voisine de $+ I_1$, et ainsi de suite [1].

précision, les intermédiaires étant un peu incertains ; la quatrième, par exemple, est sans doute trop grande, mais leur ensemble montre bien, et c'est là le fait intéressant, la variation, avec le champ, de l'aimantation du dépôt ; ces valeurs sont du même ordre de grandeur que celles obtenues par plusieurs physiciens en aimantant, après leur formation, des dépôts électrolytiques ordinaires de fer.

(1) Voici un exemple numérique, en ne mettant en évidence que les valeurs intéressantes :

Champ	+ 2,65 (H_0)	+ 14,8 (H_m)	
Intensité d'aimantation (déviation du magnétomètre)	+ 93,7	+ 129,4	
Champ	+ 23,2	— 19	
Intensité d'aimantation	+ 174	+ 162,6	
Champ	— 18,5	— 23,3	+ 18
Intensité d'aimantation (déviation du magnétomètre)	+ 104,1	— 180,2	— 160
Champ	— 23,1	0	
Intensité d'aimantation	— 183,6	— 178,1	

Ainsi le champ coercitif est énorme, ce qui s'accorde avec la rigidité de l'aimantation, indiquée plus haut. Le renversement de l'aimantation s'effectue brusquement, à l'aller et au retour, dans une très petite région du champ. Si, lorsqu'on est arrivé dans une de ces régions de variation rapide, on maintient fixe pendant un moment le champ, on voit la tache lumineuse continuer à se déplacer sur l'échelle, très rapidement d'abord, puis de plus en plus lentement; ces phénomènes de *trainage magnétique* ont ceci d'intéressant qu'ils *se produisent pour des valeurs élevées du champ.*

Lorsqu'on n'augmente pas la valeur du champ négatif jusqu'à celle qui correspond à la variation rapide, et que l'on fait alors revenir le champ en arrière (par exemple quand on prend comme limites de variation du champ $\pm H_m$), on reste dans une région de faible variation de l'aimantation; ainsi, bien que le champ décrive un cycle à limites symétriques, positive et négative, l'aimantation reste positive et ne subit que de faibles variations, même si l'on répète celles du champ.

En résumé, l'aimantation acquise par les dépôts électrolytiques de fer pendant leur formation dans un champ magnétique dépend de la valeur de ce champ, et est très rigide. On admettait, depuis les expériences de Beetz [1], que la saturation était au contraire atteinte même dans un champ faible ; M. Maurain se propose de revenir sur l'interprétation de ces expériences, qui lui paraît conciliable avec celle des siennes [2].

Sur la cohésion diélectrique des gaz, par **M. Bouty**. *Comptes rendus*, t. CXXXI, p. 443-447.

M. Bouty a démontré antérieurement [1] que,

(1) Beetz, *Pogg. Ann.*, t. CXI, p. 107-121 ; 1860.

(2) Dans quelques expériences relatives au nickel, M. Maurain a étudié l'action des variation du champ sur le dépôt aimanté : lorsqu'on augmente le champ à partir de H_0, l'aimantation croît, ce qui montre bien que, comme pour le fer, la saturation n'était pas atteinte ; si l'on fait ensuite décroître le champ, l'aimantation décroît, mais d'une manière continue, sans qu'il y ait, comme pour le fer, une période de variation lente et une de variation rapide ; elle n'est réduite à o, de même que pour le fer, que pour un champ négatif très grand (par exemple champ coercitif = 28 pour $H_0 = 4,8$ et $H_m = 10,5$); l'aimantation acquise a les mêmes caractères de rigidité que pour le fer.

(1) Voir *Écl. Élect.*, t. XX, p. 198 et 200, 5 août 1899.

quand un gaz contenu dans une enveloppe isolante se trouve placé entre les plateaux d'un condensateur, c'est-à-dire dans un champ électrique constant, le gaz isole pour toute valeur du champ inférieure à une certaine limite critique, et livre passage à toute l'électricité pour toute valeur du champ supérieure. Ce champ critique mesure ce qu'il a appelé la *cohésion diélectrique* du gaz.

Les premières expériences à ce sujet n'avaient pu être réalisées que dans un intervalle de pressions beaucoup trop restreint. Depuis, M. Bouty a porté de mille à trois mille le nombre des petits accumulateurs qui produisent le champ, et il a joint au double baromètre, qui lui avait exclusivement servi pour la mesure des pressions, une jauge de Mac-Leod, jauge permettant de comparer entre elles les pressions comprises entre 0,5 mm et 0,01 mm avec la même précision relative que comporte l'usage du baromètre pour les pressions plus élevées.

Les expériences relatées dans cette note ont été faites dans des conditions identiques, c'est-à-dire avec un même ballon de verre plat, un même condensateur et une distance invariable des plateaux (diamètre du plateau inférieur, 21 cm ; du plateau supérieur, 16 cm ; diamètre du ballon, 8 cm ; épaisseur, 2,4 cm). Pour le calcul du champ, on a admis que, dans la région centrale occupée par le ballon, ce champ avait uniformément la valeur $\frac{V_1 - V_2}{e}$, où $V_1 - V_2$ est la différence de potentiel des plateaux, e leur distance.

Ces expériences ont porté sur trois gaz : l'hydrogène, l'air et l'anhydride carbonique. Pour ces trois gaz on a observé les mêmes phénomènes généraux. Le champ critique décroît d'abord linéairement avec la pression, passe par un minimum et croît ensuite indéfiniment.

Les minimum : 233 volts pour l'hydrogène, 300 pour l'air, 373 pour l'acide carbonique, sont du même ordre de grandeur, mais nettement inégaux. Pour les pressions les plus élevées, le champ critique, à pression égale, est beaucoup plus petit pour l'hydrogène que pour l'air et pour l'air que pour l'acide carbonique. Mais cet ordre se trouve renversé aux plus basses pressions, de telle sorte que l'hydrogène, le moins isolant des trois gaz à haute pression, est de beaucoup le plus isolant aux pressions très basses.

La courbe, relative à l'hydrogène, admet une asymptote inclinée, qu'elle coupe au delà du minimum, pour se rapprocher très rapidement de l'axe des champs critiques, sa deuxième asymptote.

Les courbes relatives aux trois gaz ont des formes analogues. Elles sont très bien représentées par des équations de la forme

$$\left(y - a - \frac{c^2}{p^2}\right)^2 = b^2 p(p + 2\pi).$$

Aux pressions les plus élevées, cette courbe se confond pratiquement avec son asymptote inclinée.

$$y = a + b(p + \pi).$$

Aux pressions les plus basses, on a très sensiblement

$$y = a + \frac{c^2}{p^2} ;$$

le champ critique varie en raison inverse du carré de la pression.

Les divers coefficients ont pour valeurs :

	a.	*b.*	*c.*	*π.*
Hydrogène	95	250	0,339	1,3
Air	150	470	0,1758	0,70
Acide carbonique . .	260	570	0,1415	0,44

En prenant pour unités les coefficients relatifs à l'hydrogène, les coefficients relatifs aux deux autres gaz deviennent :

	a.	*b.*	$\frac{1}{c}$.	$\frac{1}{\pi}$.
Hydrogène	1	1	1	1
Air	1,579	1,880	1,857	2,051
Acide carbonique .	2,737	2,28	2,94	2,550

Les coefficients ainsi exprimés se trouvent assez voisins les uns des autres pour un même gaz. S'ils étaient rigoureusement égaux, il serait possible de faire coïncider les courbes relatives aux différents gaz par une simple réduction de l'échelle des pressions. On voit que cette coïncidence ne peut être réalisée que d'une manière assez grossièrement approchée.

Séance du 27 août 1900.

Cohésion diélectrique et champs explosifs, par **E. Bouty**. *Comptes rendus*, t. CXXXI, p. 469-471.

M. Bouty fait observer que les courbes relatives aux champs critiques dont il vient d'être question, offrent une grande analogie avec celles qui représentent les champs explosifs, en désignant sous cette dernière dénomination les va-

leurs minimum du champ qu'il faut produire dans l'intervalle de deux électrodes à peu près planes, pour qu'une étincelle jaillisse entre ces électrodes.

L'analogie ne va pas toutefois jusqu'à l'identité. Les électrodes prennent une part active, mais inconnue, aux phénomènes de la décharge, et il y a lieu de démêler ce qui appartient aux électrodes et ce qui appartient en propre au gaz. Des mesures exécutées par M. Max Wolf entre 1 et 5 atmosphères fournissent un terme de comparaison que M. Bouty utilise pour cet objet.

M. Max Wolf employait des électrodes de laiton de 10 cm de diamètre, distantes de 1 mm, et il représente les champs explosifs minimum y par les formules linéaires suivantes :

(1)
Hydrogène . . . . $y = 62 + 65{,}09\,p$.
Air . . . . $y = 39 + 107\,p$.
Acide carbonique . . $y = 72 + 102{,}2\,p$.

La pression p est évaluée en atmosphères, le champ explosif y en unités C. G. S. électrostatiques.

Les expériences de M. Bouty indiquent aussi qu'à partir d'une pression de quelques millimètres de mercure, les champs critiques deviennent des fonctions linéaires de la pression. En adoptant les unités de M. Wolf, les asymptotes inclinées des courbes ont pour équations :

(2)
Hydrogène . . . . $y = 1{,}4 + 63{,}33\,p$.
Air . . . . $y = 1{,}593 + 119{,}09\,p$.
Acide carbonique . . $y = 1{,}703 + 148{,}4\,p$.

Les coefficients de p sont sensiblement égaux dans les formules de M. Wolf et celles de M. Bouty pour l'hydrogène et l'air. Les termes constants sont au contraire très différents. M Bouty donne de ce fait l'explication suivante :

« Le terme proportionnel à la pression représente proprement la part du champ explosif afférente au gaz, c'est-à-dire mesure l'obstacle apporté par le gaz au passage de l'électricité, ce que Maxwell, développant les idées de Faraday, appelait l'*électrical strenght*, ce que les Allemands désignent par l'expression de *electrische Festigkeit*, enfin ce que je nomme la *cohésion diélectrique* du gaz. Le terme constant constitue la part des électrodes, c'est-à-dire correspond au travail d'arrachement, de volatilisation des particules métalliques. Dans cet ordre d'idées, il est naturel de penser que le terme constant très petit de mes formules offre une signification analogue, le diélectrique solide ne jouant pas un rôle entièrement passif, puisque l'électricité qui a traversé le gaz doit nécessairement passer à sa surface et la modifier en quelque manière. Dans le cas de l'hydrogène, cet effet ne serait pour le verre que la quarante-quatrième partie environ de l'effet des électrodes de laiton employées par M. Wolf.

» On sait que l'hydrogène présente cette particularité que le champ explosif est, dans des limites étendues, indépendant de la distance des électrodes, tandis que, dans les mêmes limites, le champ explosif relatif à l'acide carbonique est susceptible de varier du simple au double. Les coefficients de la formule de M. Max Wolf pour l'acide carbonique auraient donc changé si, au lieu d'opérer à 1 mm de disiance, ce physicien avait choisi toute autre distance explosive. Il n'y a pas lieu d'être surpris que les coefficients des termes en p des formules (1) et (2), qui, dans le cas de l'hydrogène, étaient identiques, diffèrent, pour l'acide carbonique, de 40 p. 100 de leur valeur.

» Dans tous les cas, la différence des valeurs de y dans les formules (1) et (2) mesure l'effet de la substitution des électrodes au verre, effet constant pour l'hydrogène à toute pression, mais qui devient, avec les autres gaz, une fonction plus ou moins rapidement variable de la pression. »

M. Bouty rappelle ensuite que par l'étude de cinq gaz : hydrogène, azote, air, oxygène, acide carbonique, M. Max Wolf avait cru reconnaître une relation approchée de proportionnalité entre le coefficient de p de ses formules et l'inverse du chemin moyen l des molécules, tel qu'on le calcule d'après la théorie cinétique des gaz. Cette relation ne subsiste d'ailleurs, avec les nombres de M. Wolf, qu'à la condition de doubler arbitrairement le coefficient de p relatif à l'anhydride carbonique. En prenant pour les valeurs des coefficients de p dans ses propres formules M. Bouty a constaté que cette relation est exacte pour l'air et l'hydrogène, mais ne se vérifie encore qu'à 16 p. 100 près pour l'anhydride carbonique.

Le Gérant : C. NAUD.

Tome XXIV. Samedi 15 Septembre 1900. 7e Année. — N° 37

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

EXPOSITION UNIVERSELLE

COMPTEUR D'ÉNERGIE HOLDEN A INTÉGRATION DISCONTINUE (1)

Principe (2). — Le compteur de M. F. Holden est basé sur le principe des impulsions électrodynamiques périodiques imprimées par un système de bobines fixes à des bobines mobiles. Ces impulsions communiquent à un équipage mobile autour d'un axe vertical une certaine quantité d'énergie cinétique dissipée par hystérésis dans un disque de fer placé entre des aimants.

L'angle décrit par l'équipage mobile avant son arrêt est d'autant plus grand que l'impulsion a été elle-même plus grande. En proportionnant convenablement les organes, on obtient la proportionnalité entre l'angle décrit par l'équipage mobile et la puissance traversant l'appareil à l'instant de chacune des impulsions périodiques. Une minuterie totalise les angles décrits et donne, par suite, la quantité totale d'énergie fournie à l'appareil entre deux lectures.

Description. — La figure 1 représente une vue extérieure d'un compteur de 500 watts; les figures 3, 4 et 5 en représentent schématiquement les organes; la figure 2 représente un compteur de tableau de distribution de 100 kilowatts; les figures 6 et 7 représentent

(1) Exposé, en service sur un branchement, dans une des galeries du premier étage du Palais de l'Electricité presque en face l'exposition de la Compagnie pour la fabrication des compteurs et matériel d'usines à gaz (boulevard de Vaugirard).

(2) Ce principe ainsi qu'une description illustrée de l'appareil ont déjà été publiés dans *L'Éclairage Électrique*, du 4 novembre 1899 (t. XXI, p. 168) d'après un brevet anglais au nom de l'inventeur et de la compagnie anglaise Thomson-Houston. Nous croyons cependant nécessaire de les rappeler dans cette monographie.

**

les diagrammes de connexion de compteurs à courant continu à 2 ou 3 fils, et de compteurs à courant triphasé.

La partie supérieure du compteur est constituée par un électrodynamomètre qui comporte des bobines ordinaires en série, C,C (fig. 4), et des bobines en dérivation D,D, et il y a intérêt à donner à ces bobines des enroulements astatiques, afin d'annuler l'influence d'un champ magnétique terrestre ou d'un champ magnétique local. Les bobines en dérivation, portées sur un arbre vertical B reposant sur des pivots, peuvent se déplacer dans un angle limité par des butées *d*, *d* (fig. 5).

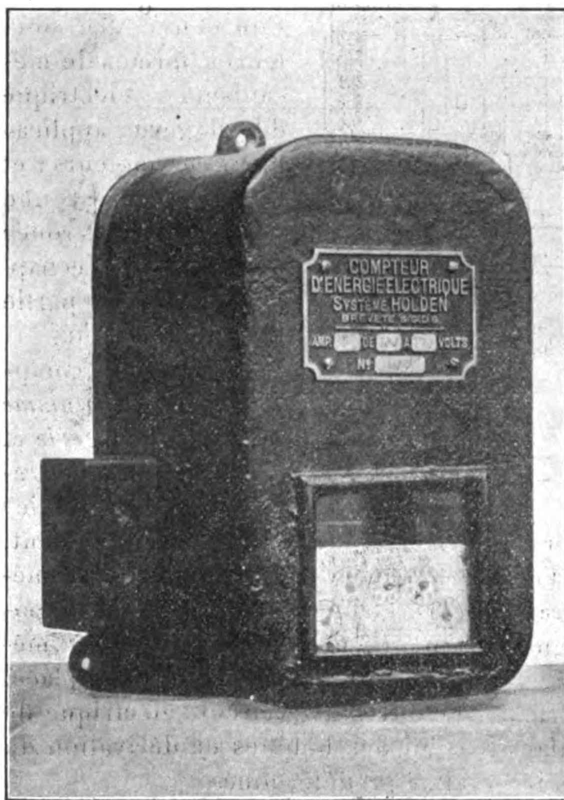


Fig. 1. — Vue extérieure d'un compteur de 500 watts.

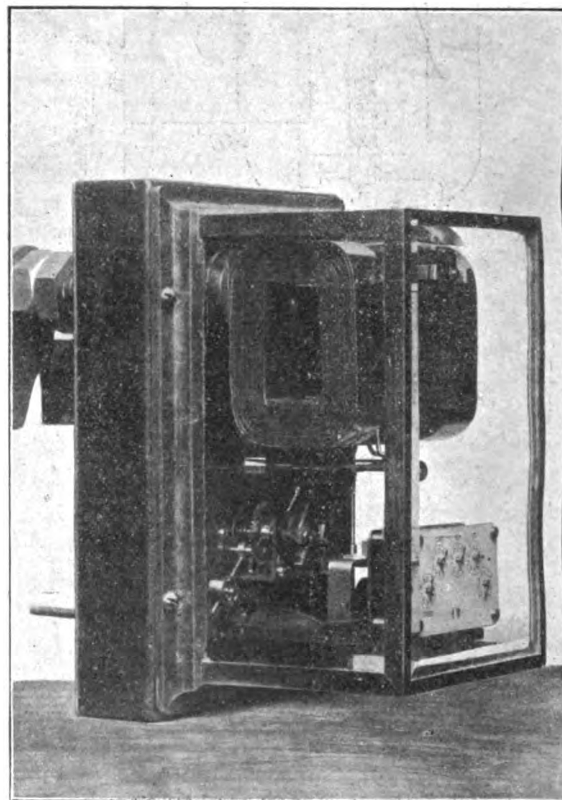


Fig. 2. — Compteur de tableau de distribution de 100 kilowatts.

Un petit cylindre isolant E surmonte ces bobines et en supporte les extrémités. A chacune d'entre elles est assujettie une petite lame de métal *b*, *b*, partiellement enroulée autour du cylindre et fixée à l'autre extrémité par un ressort F dont on peut varier la tension au moyen de vis, ce qui permet de faire varier considérablement le couple de torsion de l'équipage.

La partie inférieure du compteur comprend un arbre vertical B', dans le prolongement de l'arbre B, et cet arbre porte trois bras filetés, portant, sous forme d'écrous, des contrepoids réglables qui permettent de l'équilibrer facilement. Une denture circulaire est montée sur ces bras. Cet arrangement permet de donner aux organes un moment d'inertie considérable par rapport à leur masse. L'arbre porte aussi un disque de fonte K, et une vis sans fin qui commande le mécanisme enregistreur. Le disque de fonte tourne entre

les pôles d'un aimant permanent, présentant de grandes surfaces polaires en regard du disque et exerçant sur lui, du fait de l'hystérésis, un effort constant (1)

Les bornes des bobines en dérivation sont périodiquement réunies au circuit par un mécanisme d'horlogerie à commande électrique, et les bobines de courant portent le courant principal à la manière ordinaire.

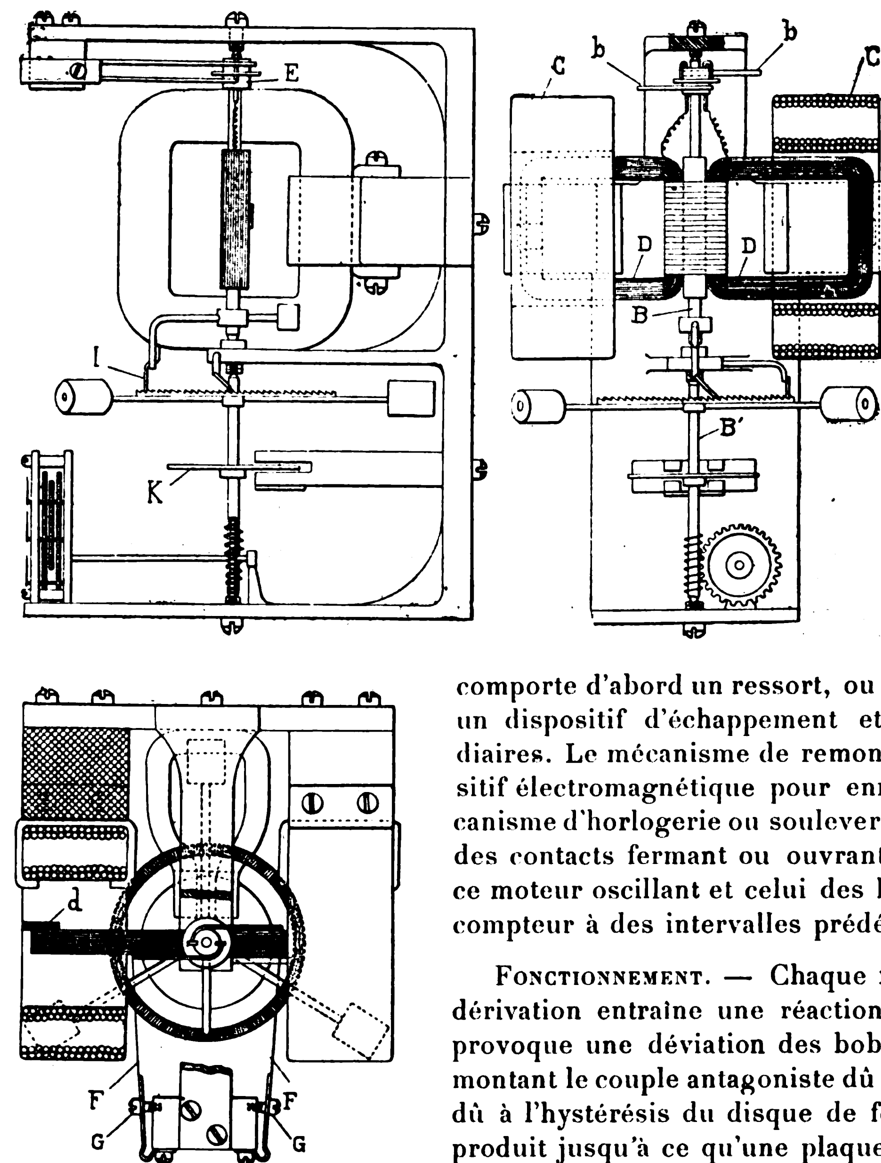


Fig. 3 à 5. — Vues en élévation et vue en plan du mécanisme.

Les figures 8 et 9 représentent les vues en plan et en élévation d'une des meilleures formes de mécanisme électrique d'horlogerie, applicable à ces moteurs ; et la figure 10 est une vue en plan des roues dentées et de l'échappement faisant partie de ce mécanisme.

L'appareil comprend le *mécanisme propre d'horlogerie* et le *mécanisme de remontage*. Le premier comporte d'abord un ressort, ou un poids correspondant, un dispositif d'échappement et des pignons intermédiaires. Le mécanisme de remontage comporte un dispositif électromagnétique pour enrouler le ressort du mécanisme d'horlogerie ou soulever le poids qui le remplace, des contacts fermant ou ouvrant le circuit électrique de ce moteur oscillant et celui des bobines en dérivation du compteur à des intervalles prédéterminés,

Fonctionnement. — Chaque fermeture du circuit en dérivation entraîne une réaction entre les bobines, qui provoque une déviation des bobines en dérivation, surmontant le couple antagoniste dû aux ressorts et le couple dû à l'hystérésis du disque de fonte : ce déplacement se produit jusqu'à ce qu'une plaque de butée *d* (fig. 5), ait arrêté l'équipage. Dans ce déplacement le cliquet mobile entraîne l'équipage inférieur qui accompagne les bobines jusqu'à leur arrêt, et continue à tourner jusqu'à complète consommation de son énergie cinétique en hystérésis par l'effet du disque de fonte.

Les bobines de dérivation devient toujours du même angle quelle que soit la charge :

(1) Le faible poids des organes porté sur les deux pivots, permet d'expédier le compteur sans soulever l'équipage, et évite ainsi d'avoir à étalonner à destination l'appareil, comme il arrive avec les compteurs-moteurs.

il est évident que le couple de réaction des deux séries de bobines doit, pour produire un

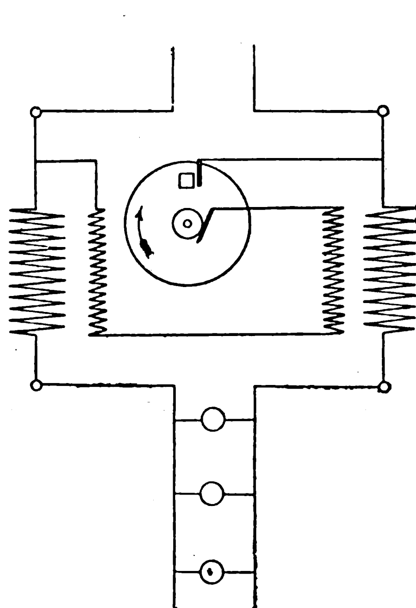


Fig. 6. — Connexions pour réseaux à deux fils.

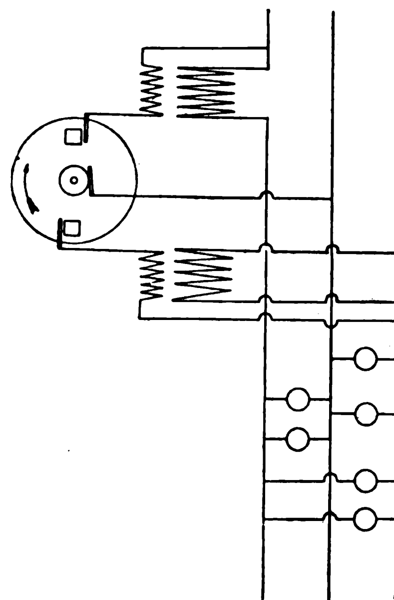
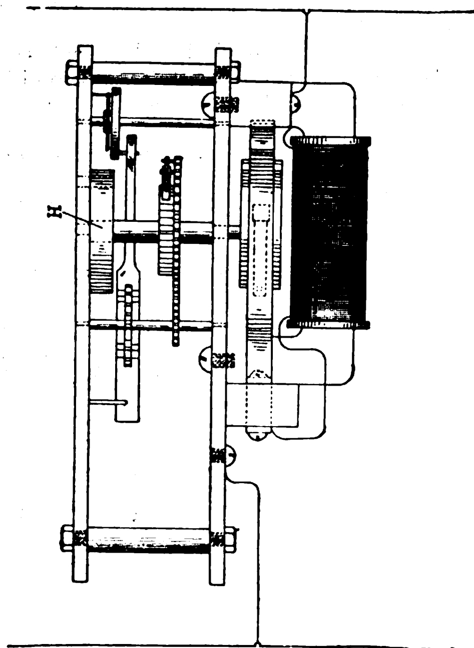


Fig. 7. — Connexions pour réseaux à trois fils.

mouvement de l'équipage, dépasser la valeur des couples dus aux ressorts et à l'hystérésis.



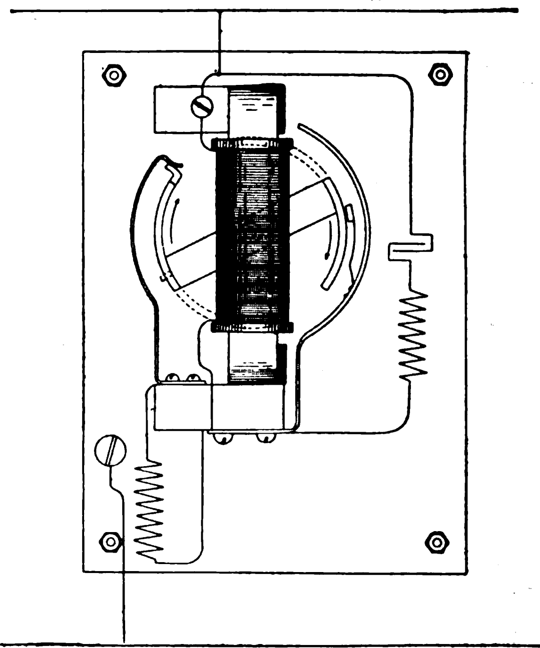


Fig. 8 et 9. — Mécanisme d'horlogerie avec remontage électrique.

En établissant une certaine relation entre les efforts moyens dus respectivement aux

ressorts et à l'hystérésis, le déplacement total élémentaire de l'équipage inférieur est proportionnel à la puissance consommée au moment de l'observation (1).

Dans le modèle de 500 watts, le déplacement correspondant à la pleine charge est d'environ 250 mm ; de sorte que pour 20 wats ou 4 p. 100 de la charge, soit la consommation d'une lampe de 5 bougies, le déplacement est de 10 mm, ce qui assure une très grande précision de la mesure. Les modèles de grande capacité commencent à donner des mesures précises à environ 1 p. 100 de la pleine charge : la longueur correspondant à la pleine charge dans un compteur de 100 kilowatts, est de 635 mm.

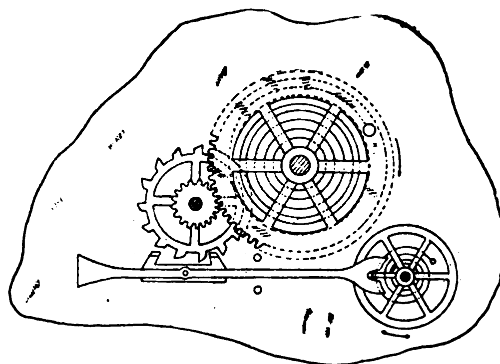


Fig. 10. — Détail de l'échappement.

Quand on désire que le compteur ait *une ou plusieurs constantes*, comme il arrive dans le cas des compteurs à tarif multiple, on peut varier la fréquence d'interruption du circuit, ou sa résistance.

Par une modification de construction très simple, que représente la figure 7, on peut approprier le compteur aux circuits triphasés. Les bobines correspondantes, en série ou en dérivation, doivent être électrodynamiquement égales, et les deux bobines de courant doivent être suffisamment écartées pour ne donner lieu à aucune influence mutuelle.

---

(1) Soient eneffet, M, le moment d'inertie de la partie tournante ; m, le moment d'inertie de la partie déviante (constituée par les bobines en dérivation) ; D, le couple dû à l'hystérésis dans le disque de fonte ; S, le couple moyen exercé par les ressorts pendant la déviation des bobines ; C, le couple moyen exercé entre les bobines au moment où la consommation est de W watts ; θ, l'angle de déviation des bobines mobiles.

A toutes les charges qui peuvent dévier l'équipage supérieur, les bobines en dérivation dévient d'un angle constant θ. Par conséquent si on les met en circuit quand la puissance consommée est égale à W. watts, le travail fait par les bobines mobiles pendant leur déviation est $C\theta$. D'autre part le travail imprimé aux ressorts est égal à $S\theta$, et le travail consommé dans le disque de fonte est égal à $D\theta$.

L'énergie cinétique de l'équipage entier au moment même où les bobines sont arrêtées par les butées est donc

$$C - S - D)\,\theta.$$

L'énergie cinétique de la partie inférieure seule à ce moment est

$$\theta\,(C - S - D)\,\frac{M}{M+m}.$$

En ajustant les vis GG pour faire changer la tension du ressort, nous pouvons obtenir que $S = D\,\frac{m}{M}$ et alors l'énergie cinétique de la partie tournante devient :

$$\theta\left(C - D - D\,\frac{m}{M}\right)\frac{M}{M+m}$$

Cette énergie doit se dépenser en hystérésis dans le disque de fer : donc si φ est l'angle décrit par le disque avant l'arrêt, mesuré à partir de sa position de départ, il s'en suit que :

$$\theta\left(C - D - D\,\frac{m}{M}\right)\frac{M}{M+m} = (\varphi - \theta)\,D.$$

Cette équation résolue par rapport à φ, donne

$$\varphi = C\left(\frac{\theta}{D}\,\frac{M}{M+m}\right),$$

c'est-à-dire que l'angle de rotation de la partie inférieure est proportionnel à la valeur instantanée de la puissance

On peut tenir compte des variations du facteur de puissance du circuit en proportionnant convenablement l'électrodynamomètre.

Le coefficient de température pour les pertes par hystérésis dans le fer étant à peu près nul et négatif à température ordinaire, il s'ensuit que le coefficient de température de l'appareil est moindre que celui du conducteur des bobines en dérivation. Ce conducteur peut être en maillechort, mais pour les basses tensions on a préféré le prendre en cuivre; dans ces conditions le coefficient de température est de 0 001, de sorte que les variations ordinaires de la température sont pratiquement sans effet sur la précision du compteur.

La résistance des bobines de volts d'un compteur de 500 watts sous 110 volts est d'environ 1 000 ohms, de sorte qu'en fermant le circuit toutes les minutes pendant 1,5 seconde, temps suffisant pour obtenir une déviation angulaire totale des bobines, la perte dans celles-ci est de 0,25 watt. On peut la réduire de moitié en fermant le circuit toutes les deux minutes (1), ce qui assure une exactitude suffisante sur tous les circuits d'éclairage.

Étalonnage. — La méthode d'étalonnage est très simple. Une expérience permet de déterminer la tension du ressort d'après la rapidité avec laquelle elle renvoie les bobines à leur position initiale. En variant le shunt magnétique de l'aimant permanent, on règle l'effort amortisseur de manière à amener le disque au repos au bout de deux tours, ou de tout autre angle de déviation convenable. On prend des lectures à une charge donnée, 5 p. 100 de la pleine charge, par exemple, les ressorts étant réglés de manière que 10 impulsions donnent au disque un tour complet, ou 5 impulsions un demi-tour ou toute autre fraction de la déviation totale correspondant à la pleine charge, tout en ayant une tension suffisante pour provoquer le renvoi des bobines de volts à leur position initiale. Les ressorts ont une si faible influence sur les lectures de pleine charge, que l'étalonnage aux fortes charges est parfaitement inutile.

J. Reyval.

---

consommée, multipliée par une expression contenant seulement des constantes; par conséquent, le mécanisme commandé par cet équipage tournant peut enregistrer l'énergie consommée.

La précision du compteur est indépendante de la charge, car la courbe représentant le rapport de la puissance à l'angle de rotation de la partie inférieure est linéaire à partir du point où le compteur commence à fonctionner.

Dans ce qui précède on n'a pas tenu compte des frottements, mais on peut voir que si les frottements mécaniques s'opposant au mouvement de l'une ou de l'autre des parties mobiles, restent constants, ils sont sans influence sur la précision de l'appareil; ils auraient seulement pour effet d'augmenter la valeur apparente de S ou de D. Le frottement dû aux cliquets sur la denture circulaire représente environ 3 p. 100 de l'effort antagoniste de travail, et le frottement des pivots atteint environ 2 p. 100, de façon que l'un quelconque ou tous deux peuvent varier dans des limites considérables, sans affecter sérieusement la précision de l'instrument.

(1) Rappelons à ce propos qu'en prenant des lectures de l'énergie électrique de minute en minute et prenant la moyenne, on obtient l'énergie moyenne avec une erreur qui ne dépasse pas 1 p. 100. Les indications basées sur des observations périodiques de cette nature sont donc tout aussi acceptables que celles d'un compteur à intégration continue de même précision intrinsèque.

Remarquons aussi que d'après les chiffres qui précèdent le circuit en dérivation d'un compteur de 500 watts absorbe un courant d'environ un dixième d'ampère. Si donc 1000 compteurs avaient leur rupture en coïncidence un courant de 100 ampères se trouverait absorbé par les bobines shunt seules. Mais le calcul des probabilités montre qu'avec une durée de fermeture égale au quarantième du temps qui s'écoule entre deux fermetures, l'entensité du courant passant dans les bobines shunt de 1000 compteurs se trouve réduite à 2,5 ampères avec une probabilité de 0,081; en d'autres termes l'intensité la plus probable du courant est de 2,5 ampères pour 8 p. 100 du temps. La probabilité pour, quand l'intensité de courant est comprise entre 2 et 3 ampères, est d'environ 0,75, c'est-à-dire que pendant près des trois quarts du temps l'intensité du courant total absorbé par les bobines en dérivation de 1000 compteurs se trouve comprise entre 2 et 3 ampères. D'après ces résultats, résultant de l'application de la théorie des probabilités, il est évident que l'existence de courants considérables est pratiquement impossible avec des compteurs commandés chacun par un mécanisme indépendant.

CONGRÈS INTERNATIONAL DES TRAMWAYS

Ce Congrès, tenu à Paris les 10, 11, 12 et 13 septembre 1900, a été organisé sous les auspices de l'Union Internationale permanente de Tramways; cette société a envoyé à ses adhérents un questionnaire détaillé sur les sujets à l'ordre du jour et, d'après les réponses qui lui ont été fournis, onze rapports ont été rédigés; nous les analyserons aujourd'hui. Dans un prochain numéro, nous donnerons le compte rendu des discussions qui ont eu lieu en séances.

I. — TARIFS, par M. H. Géron.

Le rapporteur, M. H. Géron, directeur de la Société des Tramways de Cologne, constate que toutes les réponses au questionnaire reflètent une tendance générale à *abaisser* et à *simplifier* les tarifs.

L'abaissement des tarifs ainsi que l'application d'un tarif à prix unique ont donné d'excellents résultats à l'intérieur des villes très peuplées; par contre, l'introduction du tarif à prix unique sur les lignes suburbaines et les lignes desservant les quartiers à faible circulation n'a pas eu des conséquences favorables.

Les tarifs réduits et à prix unique ne sont recommandables que dans les cas où la clientèle est très nombreuse, les départs très fréquents et où le public se renouvelle continuellement. Certaines compagnies ont vu leurs recettes et leurs bénéfices diminuer à la suite d'un abaissement de tarif et ont dû reprendre les prix anciens. Mais, en général, on peut conclure de l'expérience que, judicieusement appliquées, les réductions de tarifs augmentent les bénéfices, parce que les recettes s'accroissent au bout de peu de temps, sans entraîner une dépense proportionnelle d'exploitation (1).

(1) Voici quelques-uns des résultats cités :

Aix-la-Chapelle. — Réseau urbain et de banlieue, long de 82 km à traction électrique; depuis 1897-1898, les tarifs ont été réduits à 10 pfg sur le réseau urbain et à 5 pfg par section de 1500 m avec minimum de 10 pfg sur le réseau de banlieue; un service de correspondances « qui entraîne nombre d'inconvénients, mais qu'on ne peut éviter et qu'il est même indispensable d'établir », permet de changer plusieurs fois de voitures sans augmentation de prix. Résultats excellents sur le réseau urbain, nuls sur le réseau de banlieue; ce dernier fait provient de ce que le nombre total de voyageurs que peuvent fournir de petites agglomérations ne peut augmenter au delà d'un certain chiffre qui est vite atteint, quel que soit le tarif. Nombre de voyageurs transportés en 1899 : 8 500 000; nombre de voitures-kilomètres : 3 000 000.

Barmen-Elberfeld. — Ligne interurbaine longue de 11,7 km, à traction électrique. Le tarif ancien, par sections, de 10 à 50 pfg, a été remplacé, depuis le 1er janvier 1897 par un tarif unique de 10 pfg pour toute la ligne; le prix des abonnements fut aussi réduit. Les résultats furent les suivants :

ANNÉES	SYSTÈME de traction	KILOM.-VOIT.	VOYAGEURS transportés	RECETTES par kilom.-voit.	DÉPENSES par kilom.-voit.	DIVIDENDES
1895	Animale	1 377 081	4 869 725	40,5 pfg	31,5 pfg	
1896	Electrique	2 206 016	7 899 293	36,4 »	19,5 »	8 1/2 p. 100
1897	»	3 289 249	10 476 608	31,2 »	17,5 »	11 p. 100
1898	»	3 627 805	12 553 030	31,6 »	17,8 »	12 1/2 p. 100

Le tarif uniforme n'a pas donné de bons résultats les dimanches et jours de fêtes parce qu'alors « une foule de voyageurs profite abusivement du droit d'utilisation illimitée des voitures sur tout le parcours, ce qui fait qu'une

II. — AVANTAGES DE LA TRACTION ÉLECTRIQUE, par M. de Pirch.

Le rapport de M. de Pirch, directeur des Tramways de Barmen-Elberfeld, ne se rapporte qu'à la traction par fil aérien, les réponses du questionnaire n'ayant donné aucun renseignement sur les systèmes à caniveau, à contact ou à accumulateurs.

Les avantages de la traction électrique sur la traction animale et sur la traction par loco-

---

des conditions essentielles pour l'application du tarif uniforme, à savoir le renouvellement fréquent du public-voyageurs ne se réalise pas ».

Breslau. — L'ancien tarif de 10, 15, 20 pfg suivant les sections a été remplacé, le 1er janvier 1897, par un tarif uniforme de 10 pfg pour toute la ville. Les résultats ont été les suivants :

ANNÉES	LONGUEUR d'exploitation.	Voit.-km	RECETTES totales, en marks.	DÉPENSES TOTALES, EN MARKS sans amortissement.	DÉPENSES TOTALES, EN MARKS avec amortissement.	DIVIDENDE pour 2 000 000 marks action de capital.
	km					
1895	27,935	3 028 508	1 167 041,80	793 159,63	929 767,73	8 1/2 p. 100
1896	29,861	3 134 636	1 244 811,25	817 513,55	972 097,65	9 1/2 »
1897	30,028	3 481 293	1 465 913,70	955 500,46	1 110 303,61	12 »
1898	30,119	3 761 554	1 544 373,50	1 005 055,37	1 159 997,32	12 1/2 »

Bruxelles.— Les réductions de tarif ont atteint, pour certains parcours, de 33 à 66 p. 100. Malgré cela, malgré les augmentations de service et, par conséquent l'accroissement parfois considérable du parcours quotidien en kilomètres-voitures, la recette par kilomètre-voiture est restée sensiblement la même sur beaucoup de lignes; tout au moins la moyenne n'a-t-elle pas baissé. De nouvelles réductions seront bientôt appliquées. Le nombre de voyageurs transportés en 1899 a été de 41 000 000, correspondant à 10 000 000 de voitures-kilomètres.

Hambourg. — La dernière réduction de tarif, la plus importante, a été appliquée à partir du 1er janvier 1897. Les résultats ne semblent pas satisfaire la Compagnie; comparant les années 1896 et 1897, le rapport s'exprime ainsi : sur la ligne Wandsbek-Rathhausmarkt, on a effectué 357 896 kilomètres-voitures (soit 27,7 p. 100) en plus ; 398 505 personnes (soit 9,9 p. 100) y ont été transportées en plus et les recettes ont été de 33 461,80 marks (6 p. 100) plus faibles qu'en 1896 ; sur les autres lignes les résultats ont été : 27,4 p. 100 de voitures-kilomètres en plus, 12,3 p. 100 de voyageurs en plus, et 9,9 p. 100 de recettes en plus. « La diminution globale des recettes occasionnée par la réduction des prix de parcours est, pour autant qu'on puisse la contrôler, de 215 195,70 marks. Les résultats de l'exercice 1898 confirment les précédents. En 1898, cette société avait un réseau de 249 km de longueur de voies et de 133,5 km de longueur d'exploitation ; elle effectuait un parcours total de 23 000 000 voitures-kilomètres et transportait 61 000 000 de voyageurs.

Cologne. — La traction se fait toujours par chevaux. Les tarifs ont été profondément simplifiés et diminués. Les résultats ont été favorables, bien que sur certaines lignes on ait enregistré une diminution temporaire des recettes. Pourtant, une ligne conduisant à un faubourg peu peuplé a vu ses recettes diminuer, « ce qui prouve que l'abaissement des tarifs a une limite qui est déterminée par la densité de la population des quartiers à desservir ». Les résultats comparatifs pour l'ensemble des lignes sont les suivants :

Années	Recettes en marks totales	Recettes en marks par voit.-km	Dépenses en marks totales	Dépenses en marks par voit.-km.
1893	1 871 000	0,45	887 000	0,28
1898	2 531 000	0,476	1 487 000	0,28

Leipzig. — Le cahier des charges qui autorisait la substitution de la traction électrique à la traction animale obligeait à réduire les tarifs tout en donnant la correspondance, en sorte qu'on peut, à l'heure actuelle parcourir 11,2 km pour 10 pfg. Malgré cela les résultats furent favorables dans leur ensemble :

Années	Mode de traction	Recettes marks	Dépenses marks	Bénéfices marks
1895	Animale	2 302 877,80	1 508 756,40	
1896	» et partie électrique. .	2 527 791,35	1 500 561,30	649 335,95
1897	Electrique depuis le 16 avril .	3 539 628,65	2 055 197,20	722 683,35
1898	Electrique	3 613 301,35	2 075 572,30	699 824,35

La compagnie considère que le prix de 10 pfg devrait être porté à 15 pfg pour les voyageurs prenant la correspondance. Le réseau a 110 km de longueur de voies, 83 km de longueur exploitée ; en 1899, 13 000 000 de voitures-kilomètres furent parcourus et 42 000 000 de voyageurs transportés.

motive ([1]) ont amené les résultats suivants sur la généralité des lignes où le premier mode de traction a été substitué aux deux derniers :

Augmentation du trafic : parcours effectués et voyageurs transportés ([2]) ;

Le Havre. — *Nancy.* — Les tableaux suivants, qui donnent les résultats principaux d'exploitation pendant les dernières années, montrent que l'abaissement des tarifs a eu des conséquences favorables.

Le Havre.

	En 1892 avec traction animale.	En 1893 avec traction animale et tarifs réduits à 0.10 fr. 0,15 et 0.20 fr.	En 1895 avec traction électrique.	En 1898 avec traction électrique et une nouvelle ligne.
	francs.	francs.	francs.	francs.
Recettes totales	700 000	737 000	1 061 000	1 416 000
— par km-voit.	0,71	0,76	0,79	0,70
Dépenses —	0,53	0,53	0,43	0,41

Nancy.

	En 1895 avec traction animale.	En 1896 avec traction animale et tarifs réduits à 0,10 et 0,15 fr.	En 1898 avec traction électrique et tarifs réduits à 0,10 et 0.15 fr.
	francs.	francs.	francs.
Recettes totales	443 000	449 000	593 000
— par voit-km	0,58	0,56	0,56
Dépenses —	0,45	0,44	0,39

([1]) Augmentation de la vitesse commerciale (d'où une meilleure utilisation du matériel et du personnel et une plus grande satisfaction du public qui voyage alors plus souvent) ; élasticité (la facilité de mettre en service un plus ou moins grand nombre de voitures motrices et d'employer des remorques permet, avec l'électricité, de proportionner économiquement, à tout moment, le nombre de places offertes au nombre de voyageurs à transporter) ; facilité de traction sur fortes rampes (en raison des propriétés du moteur série, de la constance du couple moteur et de l'adhérence totale des voitures motrices) ; frais de traction peu élevés (d'où résulte la possibilité de tarifs réduits) ; dépense d'énergie nulle dans les descentes ; suppression des arrêts pour relayer les chevaux ; propreté plus grande et usure moindre du pavage des rues ; facilité de circulation dans les rues en démolition ; absence de fumée, de vapeur, de bruit.

	Voyageurs.	Voit.-km.	Dépenses par Voit.-km.	Bénéfices.
([2]) Nancy 1895.	2 877 000			Ont augmenté de 85 p. 100.
— 1898.	5 025 000			
Le Havre 1892.	4 474 000			Ont doublé en 1895 et presque triplé en 1898.
— 1898.	11 763 000			
Marseille (Saint-Louis) 1893. .	3 712 000			
— — 1898. .	6 007 000			
Barmen-Elberfeld 1895	4 870 000	1 377 000	0,394	Coefficient d'exploitation : 88 p. 100.
— 1899	13 547 000	3 943 000	0,225	— — 57,5 p. 100.
Hambourg 1894.	44 209 000	12 577 000	0,438	0,0359 fr. par voit.-km.
— 1898.	61 024 000	23 052 000	0,371	0,07525 fr. par voit.-km.
Leipzig (Grande Société) 1895.	21 242 891	4 836 353	0,390	Dividende 7 1/2 p. 100.
— — 1898.	38 004 631	11 632 471	0,224	— 8 p. 100.
— (Cie nouvelle) 1896 . .	5 384 000			
— — 1898 . .	14 915 000			
— (total) 1896.	30 418 000			
— — 1898.	52 920 000			
Aix-la-Chapelle, traction animale.			0,375	En augmentation.
— — électrique.			0,275	—

Ces chiffres demanderaient à être complétés dans la plupart des cas par l'indication des capitaux engagés.

***

Facilité d'extension des réseaux de tramways des villes vers les faubourgs et les villes ou villages voisins, même en terrain fortement accidenté (1);

Diminution des dépenses d'exploitation et augmentation du bénéfice net (2);

Possibilité d'abaisser les tarifs (3);

Possibilité d'employer des voitures plus commodes et plus grandes sans augmenter sensiblement les frais d'exploitation (4);

Ces résultats favorables s'observent aussi, en général, quand l'électricité remplace la locomotive à vapeur.

Cependant, il est des cas où la traction électrique peut ne pas être recommandable ; il faut, avant de prendre une décision, étudier le profil du terrain (5), les possibilités de trafic (6), le prix de revient de l'énergie électrique (7), les conditions spéciales du cahier des charges (8) : durée de la concession, choix du système, limitation des voitures de remorque, retour au pouvoir concédant, charges d'entretien, redevances spéciales.

---

(1) Les tramways de Hanovre ont pu construire des lignes suburbaines ayant jusqu'à 30 km de longueur. Les tramways d'Aix-la-Chapelle, depuis l'adoption de la traction électrique, exploitent un réseau de 80 km au lieu de 20 km auparavant; ce réseau relie la ville à toutes les localités qui l'entourent dans une vaste périphérie, par des routes très accidentées où des rampes de 4 à 5 p. 100 sur une longueur de 1 km sont de règle générale, et où l'on rencontre des déclivités de 9 p. 100. Au réseau de Barmen-Elberfeld viennent se réunir d'autres tramways qui, avec les lignes existant déjà, couvrent maintenant toute la région du Berg, le bassin de la Rhur, ainsi que la plaine du Rhin, d'un réseau de tramways à mailles très serrées reliant entre elles les villes de Dusseldorf, Elberfeld, Barmen, Solingen, Remscheid, Schwelm, Hagen, Duisburg, Ruhrort, Mulheim-sur-Rhur, Essen, Bocham, Dortmund, etc.

(2) Voir la note 2 de la page précédente.

(3) Voir le rapport précédent.

(4) La puissance pour ainsi dire illimitée dont on dispose et les faibles prix de traction ont permis d'employer des voitures plus confortables: accordant une plus large surface à chaque voyageur et offrant place pour un plus grand nombre de voyageurs. Les dépenses par voiture-kilomètre se trouvent augmentées, mais les dépenses par place-kilomètre peuvent se trouver diminuer, comme le prouvent les chiffres suivants relatifs à la ligne de Barmen-Elberfeld.

1898. —	Voitures à 22 places. —	Dépenses par voiture-km :	22,25 fr. —	Dépenses par place k-m :	0,825 centimes	
1899. —	— 30 —	— —	22,50 fr.	— —	0,8125	—

Cette économie n'est réelle que si le nombre des places occupées augmente proportionnellement au nombre de places offertes.

(5) Lorsque le profil est très accidenté, l'avantage revient, en règle générale, à l'électricité.

(6) Les frais de premier établissement étant assez élevés avec la traction électrique, celle-ci n'est justifiée que si la recette par kilomètre de voie est assez forte.

(7) Le rapport ne contient pas de renseignements sur le prix de revient du kilowatt-heure dans les différentes usines citées. Cependant, il fait connaître que les Tramways d'Aix-la-Chapelle achètent le courant à l'usine d'éclairage et le payent à raison de 0,15 fr le kilowatt-heure mesuré au départ des feeders ; les feeders d'alimentation et de retour sont fournis par l'usine ; le prix minimum du courant sera de 14, 375 centimes. La compagnie de Barmen-Elberfeld achète aussi son courant et le paye 16 centimes le kilowatt-heure. Ces prix sont très élevés. La Compagnie des chemins de fer vicinaux belges indique les prix de revient suivants : 5,5 centimes en 1896 ; 6,8 en 1897 ; 6,5 environ en 1899.

(8) Une longue durée de concession est nécessaire pour satisfaire à l'amortissement des capitaux engagés, surtout lorsqu'une partie des installations fait retour gratuitement à l'Etat en fin de concession. A Aix-la-Chapelle et à Barmen-Elberfeld, la durée de la concesion a été fixée à 46 ans, à partir de la date de l'application de la traction électrique ; il semble, du reste, qu'en Allemagne, le gouvernement se soit préoccupé de faciliter le développement de la traction électrique. A Aix-la-Chapelle, les frais d'entretien du pavage à la charge de la Compagnie, ont été diminués parce que la traction électrique use beaucoup moins que la traction animale ; il en a été de même à Barmen-Elberfeld où la Compagnie ne paye que 1 875 fr par an et par km de voie double pour l'entretien du pavage. La Compagnie de Hambourg reste chargée de l'entretien courant du pavage mais a été exonérée de son remplacement. Cependant, la Compagnie de Barmen-Elberfeld doit verser aux villes réunies une redevance de 4 p. 100 sur les recettes brutes d'exploitation qui sera portée à 5 p. 100 en 1921, ce qui est une charge très élevée que peu de lignes pourraient supporter.

III. — AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DE LA VOIE ÉTROITE ET DE LA VOIE NORMALE, par M. GUNDERLOCH.

M. Gunderloch, directeur des Bergische Kleinbahnen, à Elberfeld, limite justement la comparaison à la voie de 1 m et à la voie de 1,44 m et, dans ces conditions conclut : « Que la voie normale présente vis-à-vis de la voie étroite de nombreux avantages pour la traction électrique et qu'elle est plus généralement appliquée.

» Je ne puis donc me rallier en aucune façon à l'avis qui a été émis à diverses reprises, de faire décider que l'écartement d'un mètre doit devenir l'écartement normal des chemins de fer vicinaux, afin de permettre le passage des véhicules d'un chemin de fer vicinal sur un autre, parce que cette possibilité a beaucoup moins d'importance pour nous que le raccordement aux grands chemins de fer.

» J'arrive plutôt à cette conclusion que dans l'élaboration des projets de lignes nouvelles ou de transformation de lignes existantes, on doit examiner minutieusement si, eu égard aux intérêts du trafic que ces lignes doivent desservir actuellement et dans l'avenir, et au développement probable des localités desservies, ainsi qu'en tenant compte de toutes les autres considérations à envisager en pareil cas, il ne conviendrait pas d'adopter en première ligne la voie normale et de ne se décider pour la voie étroite que s'il existe des raisons réellement péremptoires pour lui donner la préférence » (1).

---

(1) Les arguments invoqués sont les suivants :

Les tramways électriques étendant leur champ d'action, il faut avant tout prendre en considération l'accélération de vitesse pour le transport des voyageurs ; les voitures doivent donc être plus solides, plus lourdes.

La variabilité du trafic exige par moment l'emploi de voitures de remorque, l'adhérence des voitures motrices et la puissance des moteurs doivent pouvoir développer la force de traction nécessaire à ce service. Enfin, il faut envisager le transport des marchandises, les tramways ayant mission de rendre accessibles les contrées écartées et de les englober dans le trafic général.

Etant données les conditions à réaliser, voyons comment chaque type de voie y satisfait.

Stabilité. — Passage en courbes. — La voie normale assure une plus grande stabilité, surtout aux grandes vitesses. La voie étroite facilite le passage en courbe ; mais de nombreuses installations avec voies normales comportent des courbes de très faible rayon, descendant à 15 m et même à 13 m, avec des trucks ordinaires, non articulés, de 1,60 m et 2 m d'empattement ; avec des trucks radiaux ou à boggies, le passage en courbe sera encore facilité. Cette raison ne saurait donc être invoquée.

On a proposé, pour faciliter le passage en courbe, de combler l'ornière du rail extérieur qui deviendrait ainsi un rail plat ; la roue extérieure de la voiture roule alors sur son boudin, ce qui surélève la voiture et tend à équilibrer la force centrifuge. Cette disposition curieuse tendrait à faciliter les déraillements et ne peut être recommandée. Pour faciliter le passage en courbe, on peut élargir l'ornière des rails, soit en employant des rails à ornières étirés spécialement, soit en employant des rails jumelés avec fourrures de dimensions voulues.

Prix de revient. — Les frais de premier établissement sont moins élevés avec la voie étroite, mais, surtout quand la voie est posée en chaussée, l'écart du prix est faible ; pour les voies en accotement, il est plus notable. On devra, dans chaque cas, faire un devis très exact.

Transport des marchandises. — Le rapporteur estime que la voie normale doit être adoptée afin de permettre le raccordement avec les voies de chemins de fer et la circulation des wagons à marchandises sans transbordement. Cette dernière condition, — qui force à n'employer que des courbes de grand rayon (au moins 150 m) ; à établir les voies assez solidement pour résister à une charge de 6 000 kg par essieu roulant à une vitesse de 30 kilomètres-heure ; à élargir l'entrevoie et la distance des voies aux propriétés riveraines en raison du gabarit des wagons de grandes voies ; à limiter les rampes possibles, en raison de la remorque ; — ne peut être réalisée sur toutes les lignes ; on sera dans nombre de cas forcé à un transbordement des marchandises, ce qui fait perdre une partie de son intérêt au raccordement.

Logement des moteurs, freins, etc. — L'espace entre les roues des voitures motrices est très réduit lorsqu'on emploie la voie étroite ; il devient alors difficile de placer des moteurs suffisamment puissants, et ensuite, de placer les organes des freins électromagnétiques ou des freins à air ; par suite de l'encombrement l'accès des différentes parties du mécanisme devient très difficile ; l'entretien devient plus coûteux, moins effectif et les accidents deviennent plus nombreux. L'échauffement des bandages et des blocs de frein qui se produit lorqu'on parcourt de longues distances avec les freins serrés se communique aux graisseurs des moteurs qui sont trop rapprochés ; la graisse devient trop fluide, pénètre facilement à l'intérieur des moteurs et détruit l'isolement. En temps de pluie, les moteurs

IV. — COMPOSITION DE L'USINE CENTRALE, par MM. THONET et D'HOOP.

Les rapporteurs sont respectivement le directeur général de la Société d'Entreprise générale, à Liège, et le directeur technique de la Société des Tramways bruxellois ; leur travail condense les réponses de 16 usines à un questionnaire détaillé qui leur avait été adressé, ce qui est insuffisant pour qu'on puisse faire des comparaisons utiles et tirer des conclusions pratiques ; certains renseignements fournis semblent même très approximatifs et déduits du raisonnement plutôt que de la pratique ; plusieurs compagnies achetant leur courant à d'autres usines n'ont pu fournir de données (1). Dans ces conditions, les rapporteurs se bornent à attirer l'attention sur les points les plus importants des installations relativement à :

1° La capacité de l'usine (2) ;
2° Les dynamos (3) ;
3° Les accumulateurs (4) ;
4° Les machines à vapeur et accessoires (5) ;

---

des voitures à voie étroite sont aussi beaucoup plus exposés aux éclaboussures. « Les efforts tentés par les constructeurs en vue d'arriver à fournir des moteurs de grande puissance pour voie étroite ont eu souvent pour effet de faire négliger certaines pièces importantes telles que les coussinets, les graisseurs, etc., pour réserver le plus d'espace possible à la partie électrique ; » les frais d'exploitation et d'entretien deviennent alors plus considérables.

La Compagnie des chemins de fer vicinaux belges, qui emploie exclusivement la voie d'un mètre avec un moteur de 20 chevaux par essieu, a reconnu dans les derniers modèles livrés de très grands perfectionnements et espère donc qu'on arrivera à construire des moteurs plus ramassés que ceux employés actuellement et développant la même puissance que ces derniers. La Compagnie générale française de tramways ajoute qu'aujourd'hui l'on construit des moteurs de 25 à 30 chevaux avec frein électrique pour voitures à voie étroite.

Enfin, la puissance limitée des moteurs pour voie étroite peut obliger à employer des voitures à 4 essieux et 4 moteurs pour obtenir la puissance et l'adhérence nécessaires à la remorque, ce qui est plus coûteux d'achat et d'exploitation que l'emploi de voitures à deux essieux et deux moteurs que permet la voie normale.

Divers. — Les caisses des voitures s'adaptent mieux aux trucs à voie normale ; leur construction dans ce cas est plus rationnelle ; avec la voie étroite, les tambours des roues, qui font saillie sour les banquettes des voitures jardinières, gênent les voyageurs.

La largeur extérieure des voitures étant la même quel que soit l'écartement des rails, l'espace libre réellement nécessité pour le service ne dépend pas de la largeur de la voie ; ceci s'applique à l'achat des terrains pour voie privée et à l'espace à réserver pour la circulation charretière sur les voies publiques.

Il faut dire à l'avantage de la voie étroite qu'elle procure une économie d'entretien du pavage.

(1) Outre les Compagnies d'Aix-la-Chapelle et de Barmen-Elberfeld déjà citées, il y a lieu de mentionner la Compagnie générale des Tramways suisses, qui achète l'énergie à la Ville de Genève, à raison de 0,125 fr le kilowatt-heure ; la consommation est mesurée au compteur.

(2) La règle générale, recommandée par le précédent Congrès, est la suivante pour des usines d'une puissance totale nécessaire de 3 000 à 4 000 kilowatts : adopter comme unité la moitié de la puissance à produire normalement et installer trois de ces unités, dont une servirait de réserve en marche normale.

(3) Dynamos compound ou surcompoundées en général ; dynamos shunt quand on prévoit l'emploi de batteries tampon.

(4) A Orléans, l'emploi des accumulateurs a été rendu nécessaire par l'adoption du moteur à gaz pauvre ; l'installation comprend un survolteur automatique Pirani qui permet de survolter la batterie de manière que celle-ci puisse fonctionner comme réservoir pendant les dernières heures du service du soir. A Berlin, les batteries sont intercalées directement entre les pôles des dynamos sans éléments de réduction. Ces batteries réduisent les variations de charge, donnent un supplément de puissance à l'usine, peuvent alimenter le réseau aux heures de faible charge ou en cas d'accident aux dynamos et réduisent la consommation de charbon. L'usine de Leipzig signale, que depuis l'adoption des accumulateurs, la consommation de charbon a diminué de 30 p. 100 et que les réparations aux chaudières et machines sont devenues moins importantes.

(5) L'emploi des machines compound tend à se généraliser ; en France, on emploie aussi des machines monocylindriques Farcot.

Les systèmes de distribution sont les Corliss et Rider. Pour les machines à accouplement direct, la vitesse angulaire admise varie généralement de 65 à 120 tours en France et de 90 à 150 en Belgique et en Allemagne. Elles sont généralement horizontales, et à condensation par injection, sauf en Allemagne et dans certaines usines où, par

5° Les chaudières et accessoires (¹);
6° Les moteurs à gaz pauvres (²);
7° Le fonctionnement de l'usine (³).

Nous reproduisons quelques-uns des renseignements les plus importants et renvoyons pour plus de détail au questionnaire et au rapport dont voici les conclusions :

« Dans les grandes installations, il faut adopter des machines à vapeur compound à attaque directe et à condensation ;

» Dans les installations moyennes, il y a, en outre, généralement lieu d'adjoindre à l'usine une batterie d'accumulateurs tampons;

» Dans les petites installations, si le combustible est cher, l'emploi de gazogènes et de moteurs à gaz pauvres donne des résultats très avantageux (⁴). »

---

manque de place, on emploie les machines verticales avec condensation par surface. La pression d'admission est, avec les machines compound, de 8 à 10 kg : cm² et avec les machines monocylindriques de 6 à 7,5 kg : cm².

(¹) Chaudières employées en Allemagne : bouilleurs, type Gehre, timbrées à 10 et 11 atmosphères; Steinmüller, Cornwall, et Babcock-Willcox timbrées à 8 et 9 atmosphères ;

Chaudières employées en France et en Belgique : semi-tubulaires, timbrées à 7 et 8 atmosphères, Babcock-Willcox et de Nayer.

La puissance de la chaudière est limitée par le volume de ces appareils ; la surface de chauffe varie de 150 à 250 m² et la surface de grille de 2,5 à 6 m². La réserve est d'environ un tiers en plus du service maximum. La chaudière semi-tubulaire est souvent préférée pour les grandes usines, afin de diminuer autant que possible l'entretien des tubes (voir aussi la note 4, plus bas). Le nettoyage des chaudières se fait tous les 2 ou 3 mois en général.

L'émulseur Dubiau, décrit dans l'*Éclairage Électrique* (t. IV, p 588, 23 sept. 1895 et t. XX, p. 441, 23 sept 1899) est employé à Nancy ; il a donné d'excellents résultats : l'économie de combustible qu'il procure varie de 15 à 50 p. 100, la siccité de la vapeur est augmentée et l'on a pu tripler parfois la puissance de vaporisation normale d'un générateur sans diminuer sensiblement son rendement thermique.

Les chargeurs automatiques sont peu répandus, mais plusieurs sociétés sont décidées à les employer. Les appareils fumivores sont aussi peu répandus. A Leipzig, pour éviter les entraînements de cendres, on a construit un plan incliné contre lequel les cendres et les escarbilles se heurtent, ce qui les fait tomber à terre.

L'eau d'alimentation est, dans la plupart des cas, réchauffée par la vapeur d'échappement des pompes alimentaires ; sa température est alors portée à 45° C environ. Trois usines réchauffent l'eau d'alimentation par les gaz chauds sortant des foyers des chaudières (économiseurs genre Green) ; sa température atteint alors 75° C.

Plusieurs usines surchauffent la vapeur ; les surchauffeurs sont placés à l'intérieur des chaudières et le degré de surchauffe varie entre 40° et 115° C., bien qu'il paraisse qu'on doive atteindre les environs de ce dernier chiffre pour tirer de la surchauffe le maximum de bénéfice. Une seule réponse, relative à l'économie réalisée par la surchauffe, donne le chiffre de 3 p. 100, qui paraît bien inférieur à ce qu'on est en droit d'attendre d'une surchauffe convenable. Aucune disposition spéciale n'a été prise en ce qui concerne le graissage des machines à vapeur.

Lorsque l'eau n'existe pas en abondance, ou a recours à des réfrigérants pour l'eau de condensation : soit à tour, soit à pulvérisation en plein air ; ce dernier système, employé surtout en France, a l'inconvénient d'exiger un grand emplacement.

Les épurateurs d'eau sont peu employés ; leur usage est nécessaire si le degré hydrotimétrique de l'eau d'alimentation atteint 20°, afin d'éviter l'incrustation et la corrosion des chaudières ; le titre doit être abaissé à 6° au moins.

(²) L'application des moteurs à gaz pauvres, système Crossley, avec gazogènes Fichet et Heurtey, réalisée à Orléans sur la proposition de M. Thonet est très intéressante. Il y a 2 moteurs de 165 chevaux, accouplés directement, par manchons Raffard, à des dynamos de 110 kilowatts. La batterie d'accumulateurs Pulvis a une capacité de 450 ampères-heures ; à la fin de la journée la batterie est suffisamment chargée pour assurer le service des tramways pendant 2 heures. La consommation des gazogènes et des moteurs à gaz a été, en marche industrielle, pendant un an, de 750 gr d'anthracite lavé d'Anzin par kilowatt-heure, y compris l'éclairage de l'usine et de 450 gr par voiture-kilomètre. C'est une consommation excessivement faible. (Voir pour plus de détails *Écl. Élect.*, t. XXII, p. CXLVI, 24 mars 1900).

(³) La consommation de vapeur varie de 5,72 à 8,67 kg par cheval-heure indiqué ; avec des machines monocylindriques Farcot, elle n'a pas dépassé 6,25 et 6,9 kg. L'économie de consommation semble résulter surtout de la construction et du mode de distribution de la vapeur. Les usines employant la surchauffe accusent les consommations les plus élevées, ce qui déconcerte un peu sur les avantages de ce procédé.

La consommation d'huile et de graisse varie dans d'énormes proportions : de 1 à 8 pour les huiles de cylindres et de 1 à 20 pour les huiles de mouvements. « L'économie de graissage doit être obtenue : 1° par l'emploie d'appareils rationnels à goutte visible et à réglage constant ; 2° par la récolte aussi complète que possible des huiles

CONGRÈS INTERNATIONAL D'ÉLECTRICITÉ [1]

Parmi les questions soumises à la section I du Congrès, celle de

LA PHOTOMÉTRIE

a donné lieu à un remarquable et magistral rapport de M. Violle et à deux communications faites, *ex abrupto*, l'une par M. Cornu, l'autre par M. Crova.

Dans son rapport, que nous reproduisons plus loin, M. Violle commence par rappeler les résolutions relatives aux grandeurs et unités photométriques adoptées par le Congrès international des Electriciens, de Genève [2], en 1896.

Il examine ensuite les qualités des divers étalons employés dans les mesures photométriques, étalons qu'il divise en deux classes : les étalons à incandescence et les étalons à flammes.

A propos de l'étalon en platine qui avait été, au Congrès de Genève, l'objet de très vives critiques de la part des délégués allemands et en particulier de M. Hefner-Alteneck, lesquels tenaient à faire adopter la lampe Hefner comme étalon international,

---

ayant servi. » Les huiles filtrées peuvent être réemployées plusieurs fois, à condition d'être renforcées par une petite quantité d'huile neuve. Le turbinage des cotons et lavettes au moyen d'une essoreuse à force centrifuge peut donner de bons résultats ; à Bruxelles on recueille tous les deux jours 60 kg de coton graisseux qui précédemment était bon à jeter ; son essorage donne environ 30 kg d'huile et 30 kg de coton relativement propre. Les produits ainsi obtenus ne sont pas aussi bons que neufs, mais peuvent être utilisés pour les usages moins délicats, dans l'atelier des voitures, par exemple.

Le tableau suivant renseigne sur les frais d'exploitation dans différentes usines.

NATURE DES DÉPENSES	DÉPENSES EN CENTIMES PAR KW : H PRODUIT AU TABLEAU								
	Bruxelles	Leipzig.	Marseille	Nancy.	Orléans.	Neuilly.	Hambourg.	Société nationale des chemins de fer vicinaux — Bruxelles Petite-Epinette	Société nationale des chemins de fer vicinaux — Centre.
Charbon	2,57	2,50	5,989	3,90	3,30	3,12	10,125		
Eau	»	»	0,061			0,14	1,000		
Huiles et graisses, chiffons, etc.	0,575	0,75	0,590	0,50		0,63	2,000	0,006	0,0035
Salaires : contre-maîtres	0,200		0,153		0,40	0,73	1,000		
» chauffeurs	0,103		0,282		0,72	0,71	1,500		
» machinistes	0,346	1,125	0,311	2,40	0,86	0,67	1,250		
» manœuvres, etc.	0,540		0,647 / 0,233		0,33	0,52	0,625		
Entretien extraordinaire du matériel	0,195	0,50	0,365	0,30	0,06	—	—		
Amortissement du matériel de l'usine	—	1,30	—	—	—	0,42	—		
Totaux	4,529	6,175	8,631	7,10	5,67	6,94	17,500	—	—

[1] Voir *L'Éclairage Électrique* des 18 et 25 août et des 1er et 8 septembre, p. 275, 294, 334 et 374.

[2] Voir dans *L'Éclairage Électrique*, t. VIII, p. 366, 22 août 1896, le compte rendu de la séance où ces résolutions ont été prises, ainsi que, t. VIII, p. 341, 22 août 1896, le rapport de M. Blondel sur les unités photométriques qui a servi de base aux discussions du Congrès de Genève.

M. Violle rappelle que peu de temps après ce Congrès, il a déjà répondu [1] à ces critiques et montré tout le parti que l'on peut tirer de cet étalon lorsqu'on se place dans les conditions voulues. Il cite ensuite les résultats obtenus par M. Petavel dans un travail fondamental sur les étalons de lumière, travail publié récemment et qui a conduit son auteur à préférer l'étalon Violle à tout autre.

A l'étalon proposé par MM. Lummer et Kurlbaum et consistant en une bande de platine portée par un courant électrique à une température inférieure à celle de la fusion [2], le rapporteur reproche l'inconvénient de donner une lumière trop rouge, tout en reconnaissant que cet étalon peut rendre des services comme étalon intermédiaire, surtout quand on s'en sert comme on le fait à la Reichsantalt pour vérifier la lampe Hefner.

M. Violle signale ensuite la possibilité d'obtenir un étalon de lumière en utilisant, comme l'a fait M. Blondel, la lumière émise par une surface déterminée du cratère d'un arc électrique ; cette possibilité est confirmée par les résultats des recherches de M. Petavel.

Passant aux lampes à incandescence, M. Violle indique les travaux de M. Liebenthal, travaux qui ont été signalés brièvement dans ce journal [3] et qui montrent qu'il importe beaucoup de tenir compte de la forme et de l'orientation du filament lorsqu'on emploie ces lampes comme étalons intermédiaires dans les recherches photométriques.

Comme étalon à flamme, M. Violle cite en premier lieu la lampe Hefner-Alteneck à l'acétate d'amyle qui a été l'objet de minutieuses études faites par M. Liebenthal au laboratoire de la Reichsantalt. Sa valeur en bougie décimale, déterminée au moyen d'une lampe Carcel, par M.. Laporte [4], au Laboratoire central d'électricité, est de 0,885 bougie décimale.

La lampe au pentane, de Vernon-Harcourt, employée en Angleterre, a été également étudiée avec soin par M. Liebenthal, lequel conclut des résultats de son travail que cette lampe est inférieure à la lampe Hefner. M. Violle fait remarquer que cette conclusion ne lui paraît pas nettement établie.

L'étalon Dibdin, à air saturé de pentane, l'étalon Methven, à flamme diaphragmée, puis les étalons à flamme d'acétylène sont ensuite envisagés par le rapporteur. A propos de ces derniers étalons, il signale celui qu'il a fait construire par M. Carpentier dès 1895 [5], ainsi que celui proposé par M. Féry [6]. Il signale ensuite l'étalon à alcool et benzine de M. Blondel [7] et celui a naphtaline de M. Broca [8].

Il termine l'étude des étalons à flamme en rappelant les recherches de MM. Clayton, Sharp et W.-R. Turnbull [9] qui ont montré que les étalons de ce genre sont sujets à des variations considérables, beaucoup plus grandes que celles auxquelles on pouvait s'attendre avant ces recherches.

Dans la dernière partie de son rapport, M. Violle s'occupe des photomètres. Il cite en

---

(1) Violle. Sur la photométrie. *Écl. Élect.*, t. IX, p. 503, 12 décembre 1896.

(2) Lummer et Kurlbaum. Etalon de lumière, *Écl. Élect.*, t. I, p. 511, 24 novembre 1894.

(3) Liebenthal. Sur la photométrie des lampes à incandescence, *Écl. Élect.*, t. XXI, p. 278, 10 nov. 1899.

(4) Laporte. Comparaison de la lampe Carcel et de la lampe Hefner, t. XV, p. 295, 14 mai 1898.

(5) Violle. Etalon à l'acétylène, *Écl. Élect.*, t. VI, p. 178 et p. 332, 25 janvier et 15 février 1896, t. VIII, p. 52, 11 juillet 1896.

(6) Féry. Etalon à l'acétylène, *Écl. Élect.*, t. XV, p. 263, 7 mai 1898 ; voir aussi t. VIII, p. 54, 11 juillet 1896.

(7) Blondel. Sur un nouvel étalon secondaire, *Écl. Élec.*, t. XVI, p. 317, 20 août 1898.

(8) Broca. Sur l'emploi de la lampe à naphtaline comme étalon secondaire, *Écl. Élec.*, t. VIII, p. 54, 11 juillet 1896.

(9) Claylon, Sharp et W.-R. Turnbull. Etude bolométrique des étalons photométriques, *Écl. Élect.*, t. II, p. 233, 2 février 1895.

premier lieu le photomètre Lummer et Brodhun, décrit récemment dans la presse technique anglaise, puis le photomètre universel de MM. Blondel et Broca [1], le photomésomètre et le lumenmètre de M. Blondel [2] et termine par quelques considérations sur la photométrie des sources colorées.

Dans leurs communications faites à la première séance de la section I, M. Cornu et M. Crova se sont également occupés de la photométrie de ces sources. N'ayant pu entendre ces communications, nous nous bornerons à en donner le résumé fait par les secrétaires de la section [3].

LA TARIFICATION DE L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE

a été l'objet, à la sous-section II_B, de communications de la part de M. de Fodor, M. Pellissier, M. de Lutoslawski et de M. Victor.

On sait que cette question se ramène en somme à trouver une solution pratique du problème suivant : étant donné que les charges annuelles d'une usine génératrice se composent, en premier lieu, de l'intérêt et de l'amortissement du capital d'établissement, lequel dépend surtout de la puissance de l'installation, et, en second lieu, des dépenses d'exploitation proprement dites, lesquelles dépendent principalement de la quantité d'énergie électrique produite par l'usine, trouver un mode de tarification qui fasse supporter à l'abonné ces deux espèces de dépenses dans une proportion équitable.

De nombreuses solutions, plus ou moins approchées mais ayant toutes en vue de développer la consommation des abonnés aux heures où l'usine fonctionne à faible charge,

---

(1) Blondel et Broca. Photomètre universel. *Écl. Élect.*, t. VIII, p. 54, 11 juillet 1896 et t. X, p. 145, 23 janvier 1897.

(2) Blondel. La détermination de l'intensité moyenne sphérique des sources de lumière, *Écl. Élect.*, t. II, p. 385, 2 mars 1895 ; t. III, p. 57, 406, 538 et 583, 13 avril, 22 et 29 juin 1895 ; t. VIII, p. 49, 11 juillet 1896 ; et en particulier pour le lumenmètre, t. III, p. 413 et pour le photomèsomètre, t. VIII, p. 49.

(3) M. Cornu. La photométrie exigeant nécessairement la distinction des radiations qui constituent la lumière émise, il importe de définir la loi de répartition des couleurs dans le spectre de la lumière considérée, parce que c'est de cette répartition que dépend la mesure de l'intensité de chaque couleur.

M. Cornu saisit cette occasion pour s'élever contre l'interprétation qu'on a dans ces dernières années donnée aux mots *spectre normal*, le mot *normal* semblant exprimer une propriété unique et décisive qui s'impose comme choix des couleurs classées suivant leur longueur d'onde.

Cette loi ne se recommande par aucun avantage particulier, si ce n'est qu'elle correspond au mode de mesure le plus précis actuellement pour la détermination des longueurs d'onde (λ). Il y aurait une infinité de lois arbitraires de représentations qui suivant les circonstances seraient plus avantageuses les unes que les autres ; par exemple la loi $\frac{1}{\lambda}$ qui représente le nombre relatif des vibrations dans l'unité du temps et la loi $\frac{1}{\lambda^2}$ qui représente sensiblement la loi de dispersion des corps réfringents employés pour la construction des lentilles et autres dispositifs optiques.

Il faut donc, dans chaque cas, choisir un mode approprié de représentation de la répartition des radiations.

M. Cornu prie M. Crova de donner son opinion sur ce sujet.

M. Crova expose sa manière de voir au sujet de la représentation des radiations. Il parle de l'échelle logarithmique qui, procédant par octaves successifs, permet peut-être de mieux représenter l'ensemble des radiations depuis l'extrême ultra-violet jusqu'aux ondes électro magnétiques. La fréquence ou l'inverse des longueurs d'onde peut encore constituer un mode de représentation plus pratique que la longueur d'onde.

Quant aux comparaisons d'intensités lumineuses, la plus grande difficulté qu'elles entraînent est due à la différence de teintes. On peut éliminer cette difficulté comme l'a montré l'auteur de la communication, en réduisant cette comparaison à celle des intensités des radiations correspondant à une même longueur d'onde prise dans les deux sources. Cette méthode recommandée par le Congrès des Electriciens de 1889, n'offre que quelques difficultés pratiques qu'il serait peut-être possible de lever ou d'atténuer. Ce point pourrait être très utilement traité par une Commission composée des électriciens et des physiciens qui se sont le plus spécialement occupés de ces questions.

M. Cornu remercie M. Crova et insiste sur l'importance de ces questions de photométrie hétérochrome.

ont été proposées ; quelques-unes ont été appliquées sur une échelle plus ou moins grande. Les unes et les autres sont indiquées par M. Pellissier [1] dans un article publié dans ce journal et dans une communication faite à la Société internationale des Electriciens [2].

Ceci rappelé, examinons les communications relatives à ce sujet et les observations auxquelles elles ont donné lieu.

M. de Fodor, dont nous reproduisons plus loin (p. 431) le texte de la communication, propose l'emploi d'un tarif unique avec escompte variable avec l'époque de l'année pour toute consommation supérieure à une certaine valeur qui elle même dépend de l'époque de l'année. Cette valeur minimum de la consommation est basée sur le nombre de lampes-heures fournies par la station pendant chacun des mois de l'année, nombre qui est calculé d'après la quantité d'énergie électrique distribuée pendant ce mois et le nombre de lampes *installées* déclaré par l'abonné. Le rabais est basé sur la proportion entre la puissance moyenne fournie par l'usine à une certaine époque de l'année et la puissance maximum de l'usine ; il est d'autant plus grand que le rapport est plus petit.

M. de Fodor estime que ce mode de tarification est équitable parce que : 1° il fait supporter indistinctement à tous les abonnés, tant que leur consommation est inférieure à la moyenne mensuelle, une taxe proportionnelle à cette consommation et assez forte pour payer toutes les charges de l'usine ; 2° la taxe se trouve réduite lorsque l'abonné, ayant consommé plus que la moyenne, a ainsi payé sa part des dépenses de premier établissement.

M. de Fodor fait aussi remarquer que ce système est d'une application extrêmement simple et qu'il incite les abonnés à augmenter leur consommation précisément lorsque l'usine est peu chargée. L'application qu'il en a faite sur le réseau de Budapest lui a prouvé qu'il en est bien ainsi.

A la suite de cette communication, MM. Lauriol, Fontaine, Meyer et Claude ont présenté les quelques observations reproduites ci-dessous, d'après les comptes rendus du Congrès [3].

---

(1) G Pellissier. — Exploitation des stations centrales ; tarifs de vente ; tarif unique, tarif unique avec escompte, vente à forfait, tarif composé d'Hopkinson, tarif différentiel de Wright ou tarif de Brighton. *Écl. Élect.*, t. XII, p. 537, 18 septembre 1897.

(2) *Bulletin de la Société internationale des Electriciens*, t. XV, p. 395 ; 1898. — *Écl. Élec.*, t. XVII, p. 368, 26 novembre 1898.

(3) M. Lauriol dit qu'un système analogue est appliqué à l'usine municipale des Halles, le consommateur paie une somme fixe à laquelle vient s'ajouter une partie proportionnelle à la consommation. Le reproche que l'on peut faire au système de M. de Fodor est que la station doit savoir ce qui se fait chez l'abonné sous peine d'être lésée par suite de fausses déclarations. De plus, l'abonné n'aurait aucun intérêt à installer des lampes qui travaillent peu. Le système de Wright peut donner de bons résultats, mais M. Lauriol estime qu'un compteur à double tarification muni de deux cadrans serait préférable. Le système Routin à tarification variable présente des difficultés d'application, le consommateur croyant qu'on le trompe. Un autre avantage de la double tarification est qu'on peut faire payer peu au moment où l'usine est peu chargée.

M. de Fodor répond qu'il fait usage de compteurs à deux tarifs (compteur Aron avec une résistance introduite dans le circuit de fil fin). L'indicateur de Wright demande des visites fréquentes et n'est pas bien juste. M. de Fodor dit que son tarif varie avec la saison, ce qui a un intérêt pour les installations doubles (gaz et électricité) dans lesquelles on ne consomme l'électricité pendant l'été que si un rabais suffisant rend son prix égal à celui du gaz. A Budapest on fait aussi usage du forfait, mais seulement pour les installations ou parties d'installations pour lesquelles la consommation est bien connue.

M. Fontaine fait remarquer que les observations de M. de Fodor s'appliquent plus particulièrement à l'Autriche-Hongrie en raison du développement considérable du bec Auer dans ce pays.

M. F. Meyer dit que l'abonné est souvent disposé à faire des déclarations inexactes.

M. de Fodor dit que des inspections régulières sont faites en même temps que le relevé du compteur et par le même employé.

....

M. G. PELLISSIER a, dans sa communication, fait ressortir les avantages du tarif de Wright ou de Brighton, d'après lequel le rabais est basé sur la durée d'utilisation ; cette durée d'utilisation est obtenue en prenant le rapport entre le nombre de kilowatts-heure dépensés par l'abonné et marqués par son compteur et le nombre maximum de kilowatts qu'il a utilisés à un moment quelconque, nombre indiqué par un appareil supplémentaire, l'indicateur Wright [1]. Pellissier fait observer que ce mode de tarification a sur celui de M. de Fodor l'avantage de baser le rabais sur le nombre de lampes *allumées* simultanément et non sur celui des lampes *installées*, ce qui est plus juste et n'incite pas le client soit à restreindre son installation, soit à faire de fausses déclarations.

M. DE LUTOSLAWSKI a décrit un système analogue adopté sur le réseau de Varsovie. Le concessionnaire accorde des rabais montant jusqu'à 10 p. 100 aux clients qui déclarent ne pas passer une certaine consommation de courant calculée d'après la quantité d'heures d'utilisation. Pour s'assurer que le client ne prendra pas un courant d'intensité supérieure à celle qu'il s'est engagé à ne pas dépasser, on dispose sur sa canalisation un interrupteur à maximum qui coupe automatiquement le circuit lorsque cette intensité se trouve dépassée pendant plus d'une demi-heure,

M. VICTOR décrit un mode de tarification du même genre [2]. Il en diffère par le point suivant : au lieu de couper le circuit de l'abonné lorsque la puissance consommée par celui-ci dépasse le maximum qu'il a déclaré, M. Victor se borne à enregistrer au moyen d'un appareil spécial le temps pendant lequel ce maximum est dépassé. Cet appareil, que l'auteur appelle un contrôleur de puissance, se compose de un ou plusieurs solénoïdes à noyaux, (2 sur les circuits à 3 fils, 4 sur ceux à 5 fils) dont les enroulements sont en série sur le circuit de l'abonné : les noyaux de fer sont fixés à un levier maintenu par des ressorts ; quand l'intensité totale du courant utilisé par l'abonné dépasse la valeur pour laquelle l'appareil a été réglé d'après les indications du client, le levier déclenche un mouvement d'horlogerie et en même temps fait marcher une sonnerie.

Ces trois dernières communications, faites à la séance du 23 août, ont été suivies d'un échange d'observations entre MM. de Fodor, Victor et Pellissier [3].

M. LAURIOL fait observer que le système de M. de Fodor ne peut être appliqué que par des sociétés ayant la liberté de leur tarif. (Prix du gaz à Budapest : 0,20 fr le mètre cube. — Prix de l'électricité : 0,80 le kilowatt-heure avec rabais allant jusqu'à 60 p. 100.)

M. MEYER dit qu'il serait logique de tarifier l'énergie suivant le genre d'installation (café, pharmacien, etc...) Le système de Fodor encourage à la consommation.

M. FONTAINE trouve que l'un des avantages de ce système est de permettre aux abonnés, grâce aux rabais considérables accordés pendant l'été, de juger des nombreux avantages de la lumière électrique. On a aussi toute chance de conserver ces abonnés.

M. CLAUDE fait remarquer que le tarif doit varier non seulement avec la saison, mais aussi avec l'heure de la journée de façon à égaliser le plus possible la charge de l'usine.

(1) Voir pour un exposé plus complet de ce mode de tarification l'article de M. Pellissier rappelé plus haut : voir aussi *Écl. Élec.*, t. III, p. 221, 4 mai 1895.

(2) Supposons, dit-il, un abonné dont l'installation comprend au maximum 300 lampes ou prises de courant mais chez lequel jamais plus de 200 lampes 10 bougies ne seront allumées à la fois : sa déclaration devra être faite pour une puissance égale à celle nécessaire pour l'alimentation de ces 200 lampes, soit, 200 lampes 10 bougies à 3 watts, 6 000 watts. L'appareil de contrôle sera réglé à 6 000 watts, le minimum demandé le sera aussi sur 6 000 watts ; si l'abonné en fin d'année a une consommation de 7 800 kilowatts-heures, je diviserai cette consommation par 6 kilowatts-heures, puissance du branchement déclaré, et j'obtiendrai ainsi 1 300, ce qui me représente la totalité des heures où il eût fallu allumer les 200 lampes à la fois pour obtenir la même consommation. Me reportant alors à l'échelle qui donne le pourcentage de rabais en fonction du nombre d'heures ainsi déterminé j'aurai immédiatement la valeur des rabais en centièmes.

(3) M. DE FODOR rappelle qu'il se base pour l'installation de ses usines sur une moyenne de consommation de

En résumé des quatre systèmes présentés, l'un base le rabais sur la puissance des installations et l'époque de l'année, les autres sur la puissance utilisée ou que l'on croit devoir être utilisée.

A notre avis le premier est mauvais parce que, comme il a été déjà dit, il tend à restreindre l'importance de l'installation et exige de la compagnie un contrôle de ces installations, contrôle d'ailleurs inefficace car il est facile à un abonné d'utiliser des lampes d'intensité lumineuse plus grande que celle qu'il a déclarée sans que la compagnie s'en aperçoive.

Les systèmes de M. Lutolawski et de M. Victor, sont, sous ce rapport, plus rationnels, mais ils exigent encore une déclaration de l'abonné et celui-ci risque ou bien de se voir intempestivement privé de courant s'il a déclaré une puissance trop faible, ou bien de ne pas profiter de la totalité du rabais auquel il a droit si, pour éviter cet inconvénient, il a déclaré une puissance trop grande.

Le système de Wright, basé sur le maximum de la puissance réellement dépensée à un moment donné, nous paraît donc de beaucoup préférable.

Toutefois aucun de ces systèmes ne nous satisfait entièrement. Si la dépense maximum de puissance a lieu au moment où l'usine est faiblement chargée, le consommateur devrait logiquement jouir d'un rabais plus grand que si ce maximum a lieu au moment de la pleine charge. Or, le système de M. de Fodor ne tient compte de ce desideratum qu'en partie, puisque son tarif, variable avec la saison, ne fait pas intervenir l'heure de la demande de puissance maximum, et que les trois autres systèmes n'en tiennent pas compte du tout.

Aussi est-il regrettable que la question des compteurs à tarifs multiples [1], soulevée incidemment par M. Lauriol, n'est pas été discutée, car il nous semble que dans cette voie on trouverait une solution pratique du problème d'une tarification rationnelle. Peut-être conviendrait-il, comme le faisait observer également M. Lauriol, que ces compteurs aient un nombre de cadrans égal à celui des tarifs au lieu d'un seul cadran dont l'aiguille tourne plus ou moins vite, mais il suffirait pour satisfaire à cette condition d'un mécanisme qui nous paraît facile à réaliser. Peut-être encore faudrait-il, pour avoir une tarification absolument équitable, combiner ces compteurs à tarifs multiples avec un indicateur de puissance maximum. Sans doute cette double condition demanderait, pour être satisfaite, une complication de mécanisme difficilement compatible avec une construction économique. Toutefois il nous semble que certains genres de compteurs, en particulier les compteurs à impulsions, se prêteraient assez facilement à cette réalisation et que c'est de ce côté qu'il faudrait chercher.

(A suivre.)

J. Blondin.

---

400 heures par lampe et par an ; ce chiffre résulte de nombreuses statistiques. Il ajoute que le système proposé par M. Victor exige un appareil et que les abonnés se méfient des appareils ; il pense que le système dans lequel un coupe-circuit interrompt le courant quand il dépasse une certaine valeur découragerait le client.

M. Victor dit que les actionnaires des sociétés sont partisans des appareils de contrôle ; il fait d'ailleurs remarquer que son appareil de contrôle ne fonctionne que si le client trompe la Compagnie.

M. Pellissier fait remarquer que les appareils de contrôle tendent à se répandre dans plusieurs pays de l'Europe et il pense qu'ils présentent un avantage considérable.

[1] Pour la tarification à tarifs multiples, voir l'article de MM. Brown et Routin (*Écl. Élect.*, t. XIII, p. 157, 28 octobre 1897), et l'article de M. Claude sur les compteurs Brown et Routin (*Écl. Élect.*, t. XIV, p. 93, 15 janvier 1898). Voir aussi quelques-uns des articles de M. Armagnat sur les appareils de mesure.

PHOTOMÉTRIE, par J. Violle.

L'introduction des foyers électriques dans l'éclairage a entraîné pour la Photométrie de nouvelles exigences qui ont préoccupé les Conférences et Congrès internationaux successifs depuis 1881. Sans revenir sur les résoulutions prises par ces assemblées, nous rappellerons seulement les conventions adoptées au dernier Congrès. Nous indiquerons ensuite l'état actuel des diverses questions qui intéressent particulièrement la photométrie industrielle touchant les étalons à incandescence ou à flammes comme les appareils de mesure, photomètres et spectrophotomètres.

Conventions internationales. — Le congrès international des Electriciens, réuni à Genève en 1896, a adopté les résolutions suivantes relativement aux grandeurs photométriques et aux étalons de lumière :

1° Les grandeurs photométriques internationales ont comme base l'intensité lumineuse d'une source punctiforme.

Elles sont résumées dans le tableau suivant :

Grandeur.	Nom de l'unité.	Équation de définition.
Intensité lumineuse	Bougie	$\mathfrak{J}$
Flux lumineux	Lumen	$\Phi = \mathfrak{J}\Omega$
Éclairement	Lux $= \dfrac{\text{lumen}}{\text{mètre carré}}$	$E = \dfrac{\Phi}{S}$
Éclat	Bougie par mètre carré	$e = \dfrac{\mathfrak{J}}{S}$
Éclairage	Lumen-heure	$Q = \Phi T$

2° L'unité d'intensité est la bougie décimale.

3° Provisoirement, la bougie décimale pourra être représentée pour les besoins de l'industrie par l'intensité lumineuse horizontale de la lampe Hefner, à condition de tenir compte des corrections nécessaires.

Etalons a incandescence. — I. L'étalon international en platine a été l'objet, notamment au Congrès de Genève, de critiques qui semblent peu justifiées. Nous avons rappelé, quelque temps après le Congrès, les conditions dans lesquelles il convient de se placer pour employer cet étalon. Il est essentiel que le platine soit parfaitement pur; la qualité de la chaux a aussi beaucoup d'importance. Si l'on prend soin de maintenir la surface du métal bien propre et de purifier chimiquement le platine dès que le nettoyage par le chlorure d'ammonium ou l'affinage par le creuset lui-même deviennent difficiles, on peut obtenir en une heure dix ou vingt fusions successives qui permettront d'exécuter autant de mesures. Le défaut de pureté des matériaux semble être la seule cause des insuccès qu'ont rencontrés quelques expérimentateurs.

Dans un travail fondamental sur les étalons de lumière, que nous aurons plusieurs fois à citer M. Petavel donne la préférence à l'étalon Violle, employé dans les conditions suivantes :

1° Le platine doit être chimiquement pur;

2° Le creuset doit être fait de chaux pure (préparée par calcination du carbonate, obtenu en précipitant le nitrate de calcium par le carbonate d'ammoniaque);

3° L'hydrogène brûlé ne doit pas contenir d'hydrocarbures;

4° Les gaz doivent être dans la proportion de quatre volumes d'hydrogène pour trois d'oxygène. On obtient le mélange parfait en envoyant l'oxygène à la fois par un tube intérieur et par un conduit annulaire extérieur à la conduite d'hydrogène.

Dans ces conditions, le platine est porté à une température peu supérieure à celle de la fusion; il ne se forme pas sur le couvercle du creuset une condensation de gouttes dont la chute entraînerait des matières étrangères. L'éclat du métal n'est pas modifié par une combinaison avec le carbone.

L'appareil construit par M. Petavel permet à un seul expérimentateur de conduire toute l'opération : on règle, au moyen d'un manomètre différentiel, l'excès de pression sous lequel l'oxygène

traverse une ouverture dont la section est environ le centième de celle des tubes de canalisation. Une jauge différentielle permet de fixer le rapport des volumes des deux gaz. Le débit d'hydrogène étant amené à 0,8 pied cube par minute, on produit la combustion pendant quinze minutes ; au bout de ce temps, par le jeu d'un électroaimant, on interrompt les deux courants de gaz et l'on substitue au chalumeau le diaphragme qui limite la surface utile ; on vérifie le centrage du couvercle, du bain de platine et du diaphragme. On est alors prêt à faire les mesures. Au bout d'un second chauffage de quinze minutes, on opère à des intervalles de dix secondes, marqués par une sonnerie ; on marque les positions de l'index du photomètre, qu'on lit ensuite à loisir.

M. Petavel a été amené à fixer comme *normales* les conditions suivantes, qui lui ont paru les plus favorables [1] : la masse du platine est 345 gr ; l'aire de la surface du bain 17 cm² ; le diamètre de l'ouverture pratiquée dans le couvercle du four 1,6 cm. Le tableau suivant donne la variation de l'intensité lumineuse en fonction du temps, exprimé en secondes, qui s'écoule à partir du moment où l'on a arrêté l'arrivée des gaz :

Temps.	Intensité.	Temps.	Intensité.	Temps.	Intensité.	Temps.	Intensité.
10	2,236	50	0,693	90	1,001	130	0,986
20	1,503	60	0,623	100	0,993	140	0,984
30	1,196	70	0,559	110	0,991	150	0,897
40	0,908	80	1,008	120	0,988	160	0,722

L'intensité tombe d'abord très rapidement, puis elle se relève par un éclair et reste très lentement variable pendant un temps qui atteint quarante ou cinquante secondes, ensuite la diminution s'accélère. M. Petavel porte sur un papier quadrillé les points représentatifs de la variation lente ; ces points sont sensiblement sur une droite qu'il prolonge jusqu'à l'abscisse correspondant à la production de l'éclair ; la valeur ainsi extrapolée est appelée *intensité au moment de la solidification*. Dans l'expérience dont les résultats ont été rapportés plus haut, on trouve 1,002 [2]. L'erreur de la détermination est donc 0,002.

L'expérience n'est considérée comme bonne que si les lectures n'accusent qu'une variation inférieure à 0,03 p. 100 par seconde pendant trente secondes au moins.

Dans la suite du mémoire, M. Petavel étudie le rôle de diverses circonstances : température à laquelle est porté le platine, masse du métal, dimensions de l'ouverture du couvercle, etc. La présence de la silice et du charbon doit être évitée avec le plus grand soin. En employant du gaz d'éclairage dans le chalumeau, il a observé une intensité de 36 p. 100 supérieure à la normale.

La conclusion générale, à laquelle on peut souscrire sans crainte, est que l'incertitude relativement à l'intensité de la lumière émise par du platine fondu dans les conditions normales ne dépasse pas 1 p. 100.

Citons enfin quelques essais de fusion du platine par le courant électrique. Dans ces expériences, les creusets de chaux se déforment rapidement ; les meilleurs résultats ont été obtenus en supportant le platine dans une rigole de nickel refroidie par un courant d'eau ; le platine reste solide au contact du nickel, qui n'est porté au rouge en aucun de ses points. Il suffirait d'employer des courants très intenses pour pouvoir opérer sur des tiges de platine de grand diamètre et varier à volonté les conditions de la fusion.

II. MM. Lummer et Kurlbaum ont proposé d'employer le platine incandescent à une température inférieure à celle de la fusion et définie par la condition que les 9/10 de l'énergie rayonnée soient absorbés par une couche d'eau de 2 cm d'épaisseur. Dans l'appareil qui fonctionne à l'Institut Physicotechnique de Charlottenburg, la source est une lame de platine de 25 mm de large et de 0,015 mm d'épaisseur, portée à l'incandescence par un courant de 80 ampères environ. L'énergie rayonnée est mesurée par un bolomètre qui a été très soigneusement étudié en vue du

[1] Ces conditions n'ont rien d'absolu. M. Petavel conseille aux expérimentateurs qui reprendraient ces recherches d'adopter pour l'intérieur du creuset de chaux la forme hémisphérique au lieu de la forme cylindrique.

[2] L'unité a été déterminée par la moyenne d'un grand nombre d'expériences.

but particulier à atteindre. Le travail de MM. Lummer et Kurlbaum est un bel exemple de l'application des méthodes de la physique de précision à la photométrie. La constance de l'étalon paraît satisfaisante, mais la construction et le maniement de l'appareil exigent évidemment une habileté qui a, jusqu'ici, limité son emploi (¹). M. Petavel a observé fort justement que les trois méthodes qui se présentent pour vérifier que le rayonnement calorifique est réduit à 1/10 ont toutes un point faible : l'emploi d'un shunt pour le galvanomètre risque d'introduire des forces électromotrices thermo-électriques ; la réduction au 1/10 du courant bolométrique complique beaucoup le dispositif; enfin, si l'on fait varier la distance de l'appareil au bolomètre, il faudra tenir compte de l'influence de l'enceinte dont la température n'est jamais rigoureusement égale à celle des résistances.

Une objection plus grave est relative à la composition de la lumière; la température choisie est trop basse, et la lumière émise est trop rouge. Si cette difficulté paraît devoir empêcher l'étalon Lummer et Kurlbaum d'être choisi comme absolu, elle n'interdit pas de l'employer comme étalon intermédiaire, surtout quand on s'en sert comme on le fait à l'Institut Physicotechnique, pour vérifier la lampe Hefner.

III. Une autre température constante et très élevée nous est offerte par le cratère du charbon positif d'un arc. Les électriciens savaient depuis longtemps que l'aire de ce cratère varie à peu près proportionnellement à l'intensité des courants et que l'intensité suit approximativement la même loi. J'ai montré que l'éclat reste rigoureusement constant lorsque la puissance varie de 500 à 34 000 watts ; cette constance, qui résulte d'une étude spectrophotométrique et photographique, démontre que la température du charbon positif est invariable et confirme l'hypothèse, déjà ancienne, de la volatilisation du carbone dans l'arc. MM. Le Chatelier et Blondel ont vérifié, sur des charbons de provenance très différente, que l'éclat reste constant si le carbone (abstraction faite de la mèche) est suffisamment pur, quels que soient l'état moléculaire et la densité des crayons.

S'appuyant sur ces résultats, M. Blondel a fait construire un appareil permettant d'utiliser comme source de lumière une surface connue du cratère ; MM. Abney, Swinburne et Silvanus Thompson avaient déjà tenté de réaliser un étalon secondaire basé sur le même principe ; j'ai moi-même fait des essais dans ce sens. Ces essais n'ont pas encore fourni de résultats absolument satisfaisants. Une des causes de l'insuccès relatif de toutes les tentatives est aujourd'hui bien connue : quand l'arc siffle, la région la plus brillante se déplace périodiquement sur la surface du charbon ; et même lorsque l'arc est silencieux, l'immobilité de la plage utile n'est peut-être pas aussi complète qu'on pourrait le désirer. M. Petavel, qui a également étudié le charbon positif au point de vue de son utilisation comme étalon de lumière, n'a pas réussi à obtenir des résultats parfaitement concordants dans la mesure de l'éclat du cratère. Il donne comme valeur moyenne 147 bougies (²) par millimètre carré, nombre suffisamment rapproché de 158, obtenu par M. Blondel.

La confirmation du résultat essentiel, à savoir la constance de l'éclat de la partie la plus brillante du cratère, permet d'espérer, malgré tout, que l'on pourra arriver à faire du charbon positif un étalon pratique. M. Petavel avait obtenu déjà des résultats plus satisfaisants en se servant de trois charbons négatifs disposés suivant les arêtes d'une pyramide régulière ayant pour sommet le cratère ; il n'a abandonné ce dispositif qu'à cause de sa complication, qui ne lui permettait pas d'expérimenter seul. Les inquiétudes que pourrait inspirer l'écart des résultats extrêmes obtenus par M. Petavel s'atténuent si l'on remarque avec lui, qu'ils ne correspondent qu'à des valeurs de la température aussi peu distantes que 3935° et 4018° C (³). Il y a lieu de croire que de nouvelles recherches permettront d'éliminer les perturbations restantes.

(¹) Une erreur de 1 p. 100 sur les mesures bolométriques entraîne une erreur de 3 p. 100 sur la valeur de l'étalon.

(²) En entourant l'arc d'une enveloppe de briques réfractaires portée à 900°, on ne voit pas varier l'éclat d'une quantité appréciable.

(³) Ces nombres sont calculés à l'aide d'une formule exponentielle qui représente la radiation d'un fil de platine en fonction de la température ; on peut considérer comme très sensiblement exact le rapport de ces deux températures, qui diffèrent seulement de 2 p. 100.

IV. L'étude des lampes à incandescence, en dehors de son importance pratique, présente un grand intérêt depuis l'introduction de ces appareils comme étalons intermédiaires en Photométrie. De nombreuses études ont établi que ces étalons peuvent être amenés à une intensité bien déterminée, quand on règle avec soin la tension aux bornes. Ce réglage doit être très précis ; l'intensité lumineuse augmente beaucoup plus vite que le voltage (5,5 fois d'après M. Liebenthal).

La constance des étalons ne s'obtient que si on utilise les rayons émis dans une direction bien donnée au voisinage de laquelle l'intensité varie peu. Les travaux de M. Liebenthal nous fournissent un ensemble de documents précieux pour l'étude de diverses formes de lampes dans les différentes directions.

L'auteur distingue quatre types de filaments incandescents : 1° le filament rectiligne qui se trouve dans l'axe de la lampe ; 2° le filament composé de deux parties rectilignes réunies par une partie courbe qui est une demi-circonférence ou un arc un peu plus grand lorsque les deux parties rectilignes ne sont pas parallèles ; le filament peut être simple ou double et le diamètre de la courbe plus ou moins grand par rapport à la longueur totale ; 3° le filament dans lequel deux parties rectilignes sont reliés par une courbe dont la projection sur le plan moyen présente un, deux ou trois points doubles ; dans le cas d'un seul point double, la lampe peut contenir deux filaments semblables ; 4° les filaments qui dessinent autour d'une courbe gauche, des festons demi-circulaires dont le plan est, au voisinage des points d'attache, parallèle à l'axe de la lampe et, dans la partie moyenne, normal à cet axe.

L'étude de l'intensité horizontale faite, au moyen de 40 mesures réparties de 9° en 9° sur la circonférence [1], montre que les réflexions sur les parois de l'ampoule, notamment dans les lampes du type 3, peuvent causer des anomalies locales très considérables ; il est donc nécessaire, si l'on veut pouvoir calculer l'intensité horizontale moyenne à l'aide d'une seule détermination, de choisir convenablement la direction unique. L'expérience montre que l'intensité passe généralement par un maximum, sans accidents notables, lorsqu'on observe, pour les types 2 et 3, dans une direction normale au plan moyen du filament et, pour le type 4, dans le plan de symétrie.

Les facteurs suivants permettent de passer de la valeur de ce maximum à celle de l'intensité horizontale moyenne :

Type 2,	parties rectilignes voisines	0,99
»	parties rectilignes très distantes, filament creux	0,88
Type 3,	une seule boucle entre deux parties rectilignes	0,94
»	deux boucles ou trois boucles	0,90
Type 4,		0,73

Deux mesures faites dans des directions rectangulaires ne donnent pas en général une moyenne satisfaisante ; trois mesures faites dans des directions équidistantes pourraient à la rigueur suffire ; l'erreur peut cependant encore dépasser 2 p. 100.

On obtient toujours une valeur exacte de l'intensité moyenne horizontale en recevant les rayons réfléchis par une lame de verre non argentée tournant autour de l'axe de la lampe, avec lequel il fait un angle voisin de 45°. On pourrait remplacer ce miroir par une pyramide immobile formée de dix lames de verre.

L'Union des Electriciens allemands adopte, pour l'intensité horizontale, la moyenne des intensités dans trois directions. On reçoit sur le photomètre les rayons émanés directement de la lampe et les rayons réfléchis par deux miroirs convenablement inclinés ; l'erreur moyenne est de 1,9 p. 100, lorsque la droite qui joint les points d'attache du filament est normale à l'axe du photomètre. Le calcul complet, fait en tenant compte des pertes par réflexion et de la distance efficace, confirme ces résultats.

M. Liebenthal conclut que la méthode recommandée par l'Union pour les lampes à filament simple sans boucle ou à une seule boucle peut encore être appliquée, avec une approximation suf-

---

[1] Dans certaines régions, il a été nécessaire de faire des mesures encore plus serrées pour obtenir avec une précision suffisante l'intensité horizontale moyenne.

fisante pour les besoins de la pratique, à d'autres types de lampes, à condition que la lampe à mesurer et la lampe normale soient de la même espèce et qu'elles soient orientées comme il a été dit plus haut. On peut même employer les lampes sans boucle, qui présentent une répartition très peu variable, pour étalonner les lampes à boucle. L'égalité d'intensité n'est pas absolument nécessaire ; on peut comparer directement des lampes de 10 bougies ou de 25 bougies à une lampe de 16 bougies.

L'Institut américain des Ingénieurs électriciens recommande, pour évàluer l'intensité horizontale moyenne, de faire tourner la lampe sur son axe à une vitesse moyenne de 2 tours par seconde. Cette vitesse semble assez faible pour éviter les effets fâcheux de la force centrifuge et permettre l'application de la méthode proposée depuis longtemps par M. Crova.

Les études de M. Liebenthal sur la répartition de la lumière en dehors du plan horizontal lui ont montré que l'intensité moyenne sphérique des divers types de lampes à incandescence est égale à l'intensité moyenne mesurée dans une direction faisant avec l'axe un angle compris entre 46° et 53°. Ce résultat s'accorde assez bien avec celui des recherches de la Commission de l'Association américaine d'Eclairage électrique : M. Bell conseille, dans son Rapport, d'évaluer l'intensité moyenne sphérique en observant l'intensité d'une lampe tournant autour d'un axe incliné de 45° sur la verticale (1).

Etalons a flamme. — Les principaux étalons à flamme sont : la lampe Carcel, dont l'emploi est réglementaire en France pour les essais de gaz ; la lampe Vernon-Harcourt au pentane, employée en Angleterre sous deux formes, dont l'une représente maintenant la bougie anglaise ; la lampe von Hefner-Alteneck à l'acétate d'amyle, qui est l'étalon légal en Allemagne où elle a remplacé la bougie de paraffine de l'Union.

Les prescriptions relatives à l'emploi de la lampe Carcel continuent à être appliquées telles qu'elles ont été formulees par Dumas et Regnault. Les lampes Hefner et Vernon-Harcourt ont été, dans ces dernières années, l'objet de travaux importants que nous allons résumer.

I. L'étalon Hefner comprend un récipient cylindrique et un porte-mèche, de dimensions minutieusement fixées, muni d'un mécanisme servant à régler la hauteur de la flamme. L'Institut Physicotechnique délivre avec chaque lampe un certificat de garantie, constatant qu'à l'appareil sont adjoints un viseur Hefner-Alteneck et un appareil de Krüss, pour mesurer la hauteur de la flamme (2), un porte-mèche de réserve et un calibre permettant de régler la hauteur de l'extrémité supérieure du porte-mèche et celle de l'axe du viseur ; la différence de hauteur doit être de 60 mm. Une variation de hauteur de 1 mm de la pointe de la flamme modifie l'intensité de 3 p. 100. Le certificat atteste que les dimensions ne diffèrent des dimensions prescrites que de quantités tolérables ; il donne l'intensité observée en employant successivement les deux porte-mèche et les deux appareils pour le réglage de la flamme.

M. Liebenthal a exécuté une série de mesures très importantes relatives à l'influence qu'exercent la composition et la pression de l'atmosphère sur l'intensité de la lampe Hefner.

On constate facilement que l'intensité de la lampe Hefner est, en moyenne, de plusieurs centièmes plus grande en hiver qu'en été. Cet effet est dû surtout à la vapeur d'eau.

D'une série de 316 mesures exécutées de 1893 à 1895, M. Liebenthal a conclu que l'intensité lumineuse varie suivant la formule

$$v = 1,049(1 - 0,0053x),$$

x étant le volume, en litres, de la vapeur d'eau, qui est diffusée dans la quantité d'air dont le

(1) Nous devrions encore citer les intéressantes recherches de M. Bunte sur la Photométrie de l'incandescence par le gaz.

(2) Le viseur permet d'amener, à l'œil nu, la pointe de la flamme dans le plan d'une cloison horizontale qui le divise en deux ; l'appareil de Krüss donne une image réelle sur un écran translucide. M. Martens a proposé récemment l'emploi d'un prisme rectangle isoscèle à face hypoténuse convexe, qui donne une image réelle et renversée au-dessus de la flamme.

volume, après dessiccation et absorption de l'acide carbonique, à la même température et sous la même pression, serait 1 m^3.

On a pris comme unité la moyenne des intensités d'un grand nombre de lampes, observées pendant plusieurs années. La différence entre le calcul et l'observation atteint au plus 0,9 p. 100, elle a pour valeur moyenne $\pm$ 0,41 p. 100 ; x a varié de 3 à 19.

L'influence de la pression extérieure est faible : la variation d'intensité est représentée, en fonction de la hauteur barométrique b, par la formule

$$\Delta y = 0{,}0011(b - 760).$$

Un changement de pression de 40 mm n'amène qu'une variation de 0,4 p. 100 dans l'intensité.

Les expériences de Bunte avaient déjà mis en évidence l'influence de la vapeur d'eau sur les flammes ; le rôle de l'acide carbonique avait été également reconnu dans le cas de la lampe Hefner. M. Liebenthal, en faisant varier la quantité de ce gaz diffusé dans la salle d'expériences [1], a trouvé que, pour une teneur x' d'acide carbonique (exprimée en litres) par mètre cube d'air pur et sec, l'intensité varie suivant la loi :

$$y = 1{,}012 - 0{,}0072\,x';$$

x' était compris, dans les expériences, entre 0,6 litre et 13,7 litres. Dans une salle bien ventilée et assez grande, x' reste voisin de 0,3 ; l'erreur correspondante, qui est 0,2 p. 100, est négligeable.

Il est à remarquer qu'à volume égal l'influence de l'acide carbonique est beaucoup plus grande que celle de la vapeur d'eau ; M. Liebenthal explique ce fait en admettant que la présence de ces corps inertes abaisse la température de la flamme dans une proportion qui dépend directement de leur chaleur spécifique.

Enfin, la cause la plus importante de la diminution d'intensité que subit une lampe Hefner au bout d'un fonctionnement de plusieurs heures dans une salle fermée ne résulte pas seulement de l'addition à l'air, supposé de composition invariable, d'une quantité notable d'acide carbonique et de vapeur d'eau ; la proportion d'oxygène, rapportée à l'azote, diminue également : le calcul de la chaleur spécifique montre que la variation de température pourrait atteindre 2 p. 100 par la disparition de 1 litre d'oxygène dans 1 m^3 d'air.

Si l'on fait les corrections dont l'étude de M. Liebenthal montre la nécessité, l'étalon Hefner devient parfaitement comparable à lui-même. On sait que, même alors, il ne peut pas être considéré comme parfait. La teinte rouge de la flamme et sa faible intensité lumineuse sont de graves défauts. La mobilité de la flamme nécessite souvent la présence d'un aide qui l'observe ; M. Liebenthal a reconnu qu'il était insuffisant d'observer dans un seul plan parce qu'on ne s'aperçoit pas de la courbure que la flamme peut prendre dans ce plan ; au moyen d'un système optique, il renvoie dans le cathétomètre d'observation une deuxième image provenant de rayons émis dans un plan perpendiculaire au premier.

En 1891, j'avais trouvé pour l'étalon Hefner

1,026 bougie décimale.

A cette époque, les dimensions de la lampe à acétate d'amyle n'avaient pas encore été spécifiées rigoureusement et l'Institut Physicotechnique ne s'occupait pas de la vérification. Des mesures plus récentes de M. Laporte, exécutées au Laboratoire central d'Electricité, ont conduit à un nombre notablement différent :

0,885 bougie décimale.

Ce nombre a été déterminé par comparaison avec une lampe Carcel, en partant de sa valeur

(1) Bunte plaçait la flamme dans un appareil spécial, où elle se raccourcissait beaucoup (*Journ. für Gasbel.*; 1891).

9,6 bougies décimales, déterminée par moi. En l'adoptant, on voit disparaître une différence systématique entre les résultats des étalonnages d'une même lampe à incandescence, effectuées successivement à Charlottenburg et à Paris. La bougie allemande de paraffine a, d'après M. Laporte, une intensité de 1,05 bougie décimale.

II. Dans l'étalon au pentane d'une bougie, le pentane liquide contenu dans le récipient se vaporise par une mèche placée à l'intérieur d'un tube qui la dépasse de quelques centimètres ; les vapeurs sont enflammées à la sortie du tube, de sorte que la mèche ne se carbonise pas. La flamme brûle à l'air libre ; sa partie supérieure s'engage dans une cheminée qui diminue sa mobilité et qui, en activant la combustion, la rend plus blanche ; une petite fenêtre percée dans cette cheminée permet d'apercevoir la pointe de la flamme, qui doit être maintenue au milieu de la fenêtre. L'intensité de la partie visible de la flamme, entre le brûleur et la base de la cheminée, est alors d'une bougie anglaise. D'après M. Vernon-Harcourt, au bout d'un quart d'heure d'allumage, la flamme se maintient à une hauteur constante ; les variations n'auraient d'ailleurs qu'une influence très faible et n'occasionneraient qu'exceptionnellement un changement de 2 p. 100 dans l'intensité.

Dans un autre type, notamment dans la lampe de dix bougies qui est actuellement réglementaire pour les essais de gaz en Angleterre, la lampe est alimentée par un courant d'air chargé de vapeur de pentane dans son passage à travers un saturateur ; le mélange descend sous l'action de son poids, par un tube de caoutchouc, dans un brûleur annulaire en stéatite ; la cheminée est entourée d'un tube de laiton dans lequel se produit un courant d'air ascendant qu'on ramène à la base de l'anneau de stéatite. La hauteur de la partie visible de la flamme doit être de 47 mm, le réglage s'effectue au moyen d'un calibre de buis de 32 mm de diamètre. Il est prescrit de rendre vertical le tube de retour de l'air chaud, qui occupe la partie moyenne de l'appareil, et d'amener l'anneau de stéatite à une hauteur donnée au-dessus de la table sur laquelle repose le trépied à vis calantes qui supporte tout l'appareil. La hauteur de la flamme se règle au moyen de fenêtres fermées par des lames de mica ; une variation de hauteur de 5 mm ou 6 mm n'aurait pas d'influence sur l'intensité utile.

Dans une communication faite au Meeting of the Institution of Gas Engineers en juin 1898, M. Vernon-Harcourt a donné les résultats d'une série de comparaisons qui établissent que le rapport des intensités des deux étalons que nous venons de décrire ne varie pas de 1 p. 100 (chaque nombre étant la moyenne de dix déterminations).

M. Liebenthal a soumis l'étalon au pentane, d'une bougie, à une étude semblable à celle qu'il avait exécutée pour l'étalon Hefner. Il a constaté d'abord, en ce qui concerne le fonctionnement général, que la hauteur de la flamme doit être réglée exactement ; quand la pointe est au milieu de la fenêtre, l'intensité passe par un maximum ; elle diminue de 2,5 p. 100 ou de 2,1 p. 100 quand la pointe est en bas ou en haut de la fenêtre. Pendant les trente minutes qui suivent l'allumage, la hauteur de la flamme croît constamment, si on n'abaisse pas la mèche ; même avec ce réglage, l'intensité augmente de plusieurs centièmes ; ce n'est donc qu'au bout d'une demi-heure environ qu'on pourra faire une mesure.

Enfin M. Liebenthal observe que quand une flamme est nue ou quand on prend pour une source une ouverture découpée dans un écran on peut appliquer la loi de l'inverse du carré des distances en partant, suivant le cas, de l'axe de la flamme ou du plan de l'ouverture. Dans un dispositif mixte comme celui de la lampe au pentane, le calcul montre que la distance efficace est celle du photomètre à l'axe de la lampe, diminuée de la moitié du rayon des tubes qui limitent la partie efficace de la flamme ; on aurait donc une correction à effectuer si l'on opérait en faisant varier la distance du photomètre à l'étalon [1].

La lampe au pentane, qui présente sur la lampe Hefner l'avantage d'avoir une flamme beaucoup plus raide, exigerait, par contre, une surveillance plus attentive.

[1] Dans les essais de gaz, tous les appareils sont fixes, le débit du gaz seul est variable.

L'influence de l'humidité est sensiblement la même que pour la lampe Hefner; le binôme de correction étant, pour la lampe au pentane

$$1 - 0{,}0055\,x,$$

la pression fait varier l'intensité de l'étalon Vernon-Harcourt suivant la formule

$$\Delta y = 0{,}00049\,(b - 760);$$

un changement de 40 mm amène une variation de 2 p. 100.

M. Liebenthal conclut qu'il faudrait tenir compte, dans les mesures faites avec cet étalon, de l'altitude du lieu où l'on opère; il ne nous semble pas que ce défaut, le plus grave qu'ait révélé l'étude consciencieuse dont nous venons de résumer les résultats, établisse nettement, comme le pense l'auteur, la supériorité de la lampe Hefner sur la lampe au pentane.

III. L'appareil Dibdin, qui avait été recommandé par le *Report of the Photometric Committee*, a été l'objet d'une étude de M. Grafton. Dans cet appareil, où l'air se carbure par son passage sur le pentane dans un réservoir qui forme la base de l'appareil, la proportion d'air et de pentane varie avec la température de la salle. Le degré hygrométrique aurait également une grande influence. On n'obtient pas de meilleurs résultats en substituant à l'air le gaz d'éclairage.

Au contraire, l'étalon Methven à flamme diaphragmée, avec carburateur au pentane alimenté par du gaz d'éclairage, a donné de très bons résultats. L'humidité et la température n'amèneraient pas de variations supérieures à 0,5 p. 100. Ce chiffre, qui est peut-être inférieur au degré de précision des mesures qu'on peut faire avec des bougies, ne semble pas toutefois devoir être accepté sans réserves.

IV. Divers étalons à flamme, qui ne sont pas encore entrés dans la pratique courante, ont été proposés dans ces dernières années, principalement des étalons à acétylène.

En 1893, la Commission photométrique néerlandaise a conseillé l'emploi d'une lampe du type Vernon-Harcourt légèrement modifié, dans laquelle on brûlerait un mélange de 9 parties de benzine dans 100 parties d'éther; l'intensité serait 1,48 bougie anglaise.

En brûlant l'acétylène sous une pression de 0,30 m d'eau, dans un bec qui l'étale en une large lame mince, j'ai obtenu, dès 1895, une flamme parfaitement fixe, dont l'intensité dépasse 100 bougies pour un débit de 58 litres à l'heure. L'éclat est sensiblement uniforme sur une grande surface. Dans le modèle construit par M. Carpentier, l'acétylène arrive par un petit orifice conique, entraîne avec lui l'air nécessaire, puis il pénètre par un trou étroit dans un tube où se fait le mélange et qui se termine par un bec papillon soigneusement ajusté. La flamme est enfermée dans une boîte dont une face porte un diaphragme à iris, tandis que l'autre peut recevoir des ouvertures calibrées à l'avance.

La flamme est d'une blancheur remarquable; l'étude spectrophotométrique a montré que, dans toute l'étendue du spectre visible, la lumière de l'acétylène diffère peu de celle du platine en fusion.

M. Féry brûle l'acétylène à l'extrémité d'un tube de thermomètre, de 0,5 mm environ de diamètre, nettement coupé. La hauteur de la flamme varie de 5 mm à 35 mm quand le débit croît de 1,25 litre à 6 litres à l'heure. Entre 10 mm et 25 mm l'intensité est très sensiblement fonction linéaire de la hauteur de la flamme; le diamètre de la flamme varie très peu.

M. Féry a effectué, à l'aide de cet appareil, une série de mesures d'éclat des différentes parties de diverses flammes.

L'inconvénient présenté par la combustion de l'acétylène d'amener trop souvent un dépôt de carbone qui obstrue les orifices serait évité si l'on adoptait, avec M. Blondel [1], l'éthylène pur, brûlant dans l'oxygène pur.

Un étalon à acétylène a été construit également en Amérique par M. Fessenden. La Commis-

---

[1] Rapport sur les unités photométriques (*Congrès international des Électriciens à Genève*; 1896).

sion de l'Institut américain des Ingénieurs électriciens fait brûler un mélange de deux parties d'acétylène et d'une partie d'hydrogène dans un courant d'oxygène pur.

M. Blondel a fait construire une lampe à cheminée dans laquelle on brûle un mélange d'alcool et de benzine cristallisable. La cheminée, qui a pour but d'éviter le vacillement de la flamme, est en métal noirci et porte deux fenêtres fermées par des lames de verre, obliquement placées, de façon à supprimer les réflexions successives.

M. Broca a proposé la lampe à naphtaline (albo-carbon), réglée de manière que la flamme du papillon soit sur le point de devenir fuligineuse : placée dans une enceinte à température déterminée, elle fournit une intensité très constante.

V. Tout ce qui précède montre suffisamment combien il est difficile d'obtenir des résultats satisfaisants avec les étalons à flamme [1]. Une étude très intéressante, exécutée à l'aide du bolomètre par MM. Clayton, Sharp et W.-R. Turnbull, a révélé l'existence de variations beaucoup plus considérables que celles auxquelles on pouvait s'attendre dans l'émission totale des divers étalons.

Pour la bougie anglaise, les variations peuvent atteindre 46,5 p. 100 de l'intensité moyenne ; pour la bougie allemande, l'écart maximum est de 24 p. 100 [2].

Les variations de l'étalon Hefner peuvent atteindre 22,6 p. 100 ; mais elles sont dues surtout aux changements de hauteur de la flamme ; quand on règle la flamme avec soin, l'amplitude des oscillations de l'intensité ne dépasse pas 2 p. 100.

La lampe Carcel a présenté des variations qui peuvent atteindre 18,2 p. 100 ; mais l'examen des courbes montre que, en général, les changements sont très lents ; la variation a pu rester, pendant une durée de trente-cinq minutes, inférieure à 0,8 p. 100.

L'écran Methven, employé avec un brûleur Argand, donne lieu à des variations beaucoup plus considérables.

Les auteurs concluent que la lampe Carcel est le plus constant des étalons photométriques qu'ils aient étudiés.

Photomètres. — I. Le principe du photomètre de Bunsen a été utilisé par MM. Lummer et Brodhun pour la construction d'un appareil bien supérieur à ceux qui l'avaient précédé. La région opaque de l'écran est constituée par une partie de la face hypoténuse d'un prisme à réflexion totale, qui renvoie les rayons provenant d'une des sources. La région moyenne est, au contraire, dénuée de pouvoir réflecteur et laisse passer les rayons de l'autre source. Pour réaliser cette condition, MM. Lummer et Brodhun, retrouvant une disposition déjà indiquée par Swan [3] en 1859 et tombée depuis dans l'oubli, ont d'abord proposé d'écraser une goutte de baume de Canada entre les faces hypoténuses de deux prismes à réflexion totale ; plus tard ils ont trouvé préférable de ne conserver qu'une partie de la face hypoténuse de l'un des prismes en usant le reste en forme sphérique et d'accoler cette partie plane à l'autre prisme. Quand le contact parfait est obtenu, la continuité est complète entre les deux masses de verre et la plage commune joue le rôle d'une tache d'huile transparente sans diffusion ni réflexion. Le plan commun des faces hypoténuses est le plan de symétrie de l'appareil ; les rayons qui l'atteignent, de part et d'autre, sous l'incidence de 45°, proviennent des deux faces d'un écran diffusant situé dans le même plan ; ils ont été réfléchis par deux miroirs parallèles. Les rayons sortants sont ramenés dans le plan de symétrie par un prisme à deux réflexions de Krüss.

La supériorité de l'écran de Lummer et Brodhun résulte surtout de la netteté de la ligne de

(1) Il y aurait probablement avantage à utiliser d'une façon générale l'existence d'un maximum d'intensité des flammes démontrée par M. Crova.

(2) Une étude postérieure par le bolomètre et le photomètre, due à M. Sharp, montre que ces variations doivent être principalement attribuées aux changements de hauteur de la flamme. Une correction de ce chef « permet d'espérer raisonnablement une erreur inférieure à 2 p. 100 ; la probabilité de commettre une erreur supérieure à 4 p. 100 est faible ».

(3) Voir Knott (*Phil. Mag.*, janv. 1900).

séparation des deux plages, qui est parfaite lorsqu'on compare deux sources de même couleur. Lorsque les teintes diffèrent peu, la dispersion des prismes produit une irisation qui sépare nettement les deux champs tant que les éclats sont différents et qui se réduit à une variation continue quand on arrive à l'égalité. D'après les auteurs, le phénomène serait assez net pour permettre de comparer des sources de teinte légèrement différente (lampe Hefner et lampe à incandescence) avec la même précision que des sources de même couleur.

Quelque soin que l'on mette à réaliser un appareil parfaitement symétrique par rapport au plan commun des hypothénuses, il n'est pas rare qu'en faisant tourner l'appareil autour de l'axe du viseur, de façon à intervertir les faces de l'écran opposées aux deux sources, on n'obtienne, pour le rapport des intensités, des valeurs qui diffèrent de 3 p. 100. MM. Lummer et Brodhun pensent qu'une étude plus complète de la réflexion dite *totale* expliquerait probablement ces écarts ; la question n'a pas encore été élucidée.

En admettant que la transmission et la réflexion soient totales dans les diverses plages, il est facile de calculer la sensibilité de l'appareil. Placé sur un banc de 800 mm. de long, entre deux sources d'intensité égale, un photomètre parfaitement symétrique doit être déplacé de 1 mm seulement, si l'on veut produire entre les plages contiguës une différence d'éclat de 1 p. 100. Les auteurs considèrent qu'une variation de 1,5 p. 100 dans l'intensité d'une source est nettement visible et que l'erreur moyenne d'un pointé est inférieure à 0,5 p. 100.

On peut employer le même appareil en remplaçant le principe de l'égalité par celui du contraste. En interposant, sur la moitié de chacun des deux faisceaux, une lamelle de verre, on obtient quatre plages et l'on règle les distances de façon que la différence d'éclat soit la même entre les deux plages de chaque couple. Dans le modèle le plus récent de cet appareil, le champ de vision est limité par une courbe elliptique allongée verticalement; à droite et à gauche se détachent deux aires trapèzoïdales, qui, au moment du réglage, doivent paraître plus sombres que les demi-ellipses qui les entourent et ressortir également [1]. A mesure qu'on dérègle, le rapport des éclats devient de plus en plus différent de part et d'autre ; l'une des plages trapèzoïdales se fond dans la région qui l'entoure pour reparaître plus claire, tandis que l'autre continue à paraître de plus en plus sombre.

Ces apparences s'obtiennent au moyen de deux prismes dont les faces hypothénuses sont planes et accolées ; sur l'une d'elles on a évité la transmission de la lumière en enlevant la couche superficielle à l'aide d'un jet de sable suivant trois bandes parallèles aux arêtes des prismes. La différence d'éclat des plages contiguës dont on observe le contraste est de 8 p. 100. On peut la faire varier entre certaines limites dans un autre modèle construit par les mêmes auteurs.

II. MM. Blondel et Broca ont construit un *photomètre universel*, qui permet de faire toutes les mesures utiles en Photométrie : intensité, éclairements, éclats, cette dernière évaluation étant possible, aussi bien pour les sources éloignées que pour les sources rapprochées. L'appareil est symétrique, il comporte deux écrans diffuseurs transparents que l'on observe simultanément et binoculairement par l'intermédiaire de deux miroirs rectangulaires entre eux, inclinés de 45° sur les rayons. Cette partie de l'appareil peut remplacer un photomètre Bunsen ou Violle. Les mesures d'intensité peuvent se faire de plusieurs manières, notamment par l'intermédiaire d'œils de chat. Les mesures d'éclairement se font comme dans le photomètre Mascart. Pour la mesure des éclats intrinsèques, on produit des images réelles sur les écrans, et l'on procède comme dans le microphotomètre de M. Cornu. Enfin, on peut substituer aux écrans diffusifs des objets convenables pour remplacer l'étude des égales clartés par celle des égales acuités.

III. Le *photomésomètre* de M. Blondel applique les principes de la méthode de M. Allard pour la détermination de l'intensité moyenne, c'est-à-dire de la quantité

$$I_m = \frac{1}{2}\int_0^{\pi} I_\alpha \sin \alpha d\alpha,$$

[1] Le grand axe disparait également, par suite de l'égalité d'éclat des plages contiguës

α désignant l'angle que fait avec un rayon fixe une droite qui balaye le plan dans lequel on observe. On remplace l'évaluation de cette intégrale par celle d'une somme de n termes

$$I_m = \frac{1}{n} \sum_0^n I_\alpha \sin \alpha.$$

M. Blondel renvoie les rayons de l'arc sur le photomètre au moyen d'un réflecteur formé de vingt-quatre miroirs assemblés en tronc de pyramide régulière. Pour mesurer l'intensité moyenne il place l'arc au centre d'une sphère munie d'ouvertures en forme de fenêtres accolées, limitées par des portions de méridiens et sous-tendant un angle horizontal proportionnel à sin α ; on peut remplacer toutes ces fenêtres par une seule échancrure dont la forme se détermine aisément ; on répartit plusieurs de ces échancrures sur la surface de la sphère que l'on fait tourner à 200 tours par minute.

La courbe photométrique peut se tracer aussi très facilement si l'on emploie une sphère portant des ouvertures en nombre égal à celui des miroirs et permettant l'accès de la lumière successivement sur chacun d'eux ; c'est le renversement de la méthode qui consiste à faire tourner un miroir autour d'une source.

IV. Dans le *lumen-mètre* de M. Blondel le centre géométrique de la source à étudier coïncide avec le centre de la figure d'une sphère coupée dans deux directions opposées, suivant deux fuseaux de 18° chacun qui la séparent en deux parties ; les rayons tombent sur un miroir ellipsoïdal qui les fait converger sur un écran diffusant où ils dessinent une tache lumineuse dont le diamètre varie de 0,20 m à 0,50 m et dont on détermine l'intensité à l'aide d'un photomètre placé à une distance comprise entre 2 m et 5 m. Si la source est symétrique autour d'un axe de révolution une seule mesure suffit pour obtenir le flux lumineux total. Dans un type beaucoup plus simple le miroir est remplacé par un tronc de cône de révolution de 100° d'angle au sommet recouvert d'une substance diffusante dont l'*indicatrice* de diffusion soit voisine du cercle, c'est-à-dire qui obéisse sensiblement à la loi du cosinus. On pourrait encore simplifier l'appareil en employant comme écran diffusant la partie utile du tronc de cône précédent, de façon à éviter l'emploi de la sphère à fuseaux découpés.

V. Le point le plus important à signaler dans les progrès de la spectrophotométrie est l'étude de l'influence qu'exerce la répartition de la lumière dans le spectre sur l'intensité de la lumière provenant d'une fente collimatrice. Ce n'est que quand la dispersion est grande et la fente étroite, qu'on peut admettre la proportionnalité de la largeur de la fente à l'intensité lumineuse obtenue dans une région donnée du spectre. Le fait a été établi par les expériences de M. Lummer et de M. Murphy.

Il est aussi à noter que, contrairement à une opinion quelquefois admise, on ne doit pas considérer la Photométrie hétérochrome comme facilitée par la réduction des intensités à une valeur assez faible pour que la notion de couleur disparaisse. D'après M. Broca, dont les expériences confirment celles de nombreux auteurs, la diminution de la sensibilité différentielle avec l'éclairement est à peu près aussi rapide que la diminution de la notion de différence de couleur.

VI. Les variations d'intensité nécessaires dans les expériences de Spectrophotométrie s'obtiennent souvent par l'application de la loi de Talbot, en faisant tourner devant la source un système de deux disques évidés suivant des secteurs complémentaires et qu'on déplace l'un par rapport à l'autre de façon à régler l'espace libre. La proportionnalité de l'intensité lumineuse efficace à l'angle des ouvertures a été discutée à maintes reprises ; d'après les expériences de MM. Lummer et Brodhun elle serait exacte au moins à 1 p. 100 près [1] ; d'une étude approfondie des phénomènes dont la rétine est le siège, M. Charpentier conclut que cette proportionnalité ne

[1] A ce propos, rappelons que, d'après les études de M. Bouasse et de M. de la Baume Pluvinel, la vitesse de rotation aurait une influence notable sur l'action photographique et qu'on ne saurait admettre la proportionnalité de cette action, à la durée totale de l'exposition de la plaque aux rayons lumineux.

saurait subsister que si chaque admission de lumière ne dépasse pas 1/100 de seconde (1).

VII. MM. Lummer et Brodhun ont construit un spectrophotomètre dans lequel la superposition des rayons provenant de deux collimateurs rectangulaires s'effectue au moyen d'un système de deux prismes à réflexion totale dont les arêtes sont verticales; les faces hypoténuses sont planes comme dans le photomètre à contraste; sur l'une d'elles la couche superficielle est enlevée suivant des bandes normales aux arêtes. M. Brace a basé sur le même principe la construction d'un appareil plus simple; son spectrophotomètre se compose de deux prismes rectangles égaux, dont l'ensemble constitue un prisme équilatéral; l'une des deux faces en contact est argentée, dans sa partie moyenne, suivant une bande perpendiculaire aux arêtes, qui sont verticales. Les deux prismes sont collés par du baume de Canada ou réunis par l'intermédiaire d'une goutte de naphtaline monobromée α. Deux collimateurs envoient, sous le même angle, leurs faisceaux aux deux faces qui sont dans le prolongement l'une de l'autre; une partie de l'un des faisceaux est réfléchie presque totalement sur l'argenture; une partie de l'autre traverse la série des deux prismes; les directions sont encore parallèles à la sortie pour les rayons de même couleur. On obtient dans une lunette deux spectres, dont l'un s'étend entre les deux parties de l'autre.

VIII. La photométrie hétérochrome semble avoir réalisé un progrès notable depuis l'application d'une méthode proposée par M. Charpentier et M. Rood. Quand on observe un objet soumis alternativement aux rayons de deux sources de couleur très différente, la succession produit, en général, un papillotement que l'on peut faire disparaître en faisant varier graduellement l'intensité de l'une des sources. On peut prendre cette condition comme définition de l'égalité d'intensité des deux sources. Malheureusement, il ne semble pas établi que le papillotement qui a disparu dans un premier réglage ne reparaisse pas, quand on fait varier dans un même rapport les deux intensités.

Pour utiliser le nouveau principe, M. Whitman divise en deux parties égales, par une section méridienne, un tronc de cône en bois, peint en blanc, de 3,7 cm. de haut, dont les bases ont pour diamètres respectivement 20 cm et 15 cm; il applique les deux masses l'une contre l'autre, après avoir fait tourner l'une d'elles de 180°. L'ensemble est mis en rotation autour de l'axe commun des cônes, qui est parallèle à celui du photomètre.

Dans le modèle décrit par Rood, les sources éclairent directement les deux faces verticales et rectangulaires, d'un prisme d'albâtre (comme dans le photomètre à relief d'Yvon). Devant le prisme oscille une lentille cylindrique plan-concave dont les génératrices sont parallèles à l'arête et qui envoie successivement dans l'œil de l'observateur des rayons provenant des deux faces; on déplace la source à étudier jusqu'à faire disparaître le papillotement (2).

PROPOSITION D'UN NOUVEAU MODE DE TARIFICATION DU COURANT ÉLECTRIQUE, par Etienne De Fodor, directeur de la Société générale d'Electricité de Budapest.

La concurrence acharnée que la lumière électrique doit subir en ce temps a amené la plupart des stations à baisser le prix de vente du courant électrique, ou à accorder des rabais considérables sur le prix normal. Mais, malgré toutes ces concessions, on ne réussit pas à affaiblir la concurrence, et le résultat est que beaucoup de clients, qui autrefois introduisaient chez eux la lumière électrique, l'abandonnent pour un autre moyen d'éclairage. Ni les rabais les plus élevés, ni d'autres offres ne peuvent décider ces clients à rester fidèles à la lumière électrique, puisqu'ils trouvent ailleurs un éclairage meilleur marché, et ils le trouvent à un prix avec lequel toute concurrence de notre part est presque impossible.

---

(1) Dans un travail très intéressant, dont l'étude nous entrainerait en dehors de notre cadre, M. Porter a déterminé la durée de la persistance de l'impression lumineuse maxima, c'est-à-dire la durée minima que doivent avoir les éclipses; cette durée varie avec la couleur.

(2) Rappelons, en quittant ce sujet, que l'usage le plus courant actuellement semble être celui qui consiste à filtrer les rayons des sources colorées à travers des papiers très légèrement teintés.

Je suis donc d'avis qu'il faut en prendre son parti et qu'il faut arriver à la conclusion que la lumière électrique n'est pas faite pour soutenir une concurrence effrénée avec d'autres modes d'éclairage, mais qu'elle est faite exclusivement pour les gens qui savent apprécier sa valeur et qui en useront sans regarder le prix. Je ne crois pas que l'on puisse augmenter de beaucoup l'usage de la lumière électrique en accordant des rabais à l'infini, puisque le client, qui ne considère pas les avantages, mais seulement le *prix* de la lumière électrique, se montrera insatiable en fait de rabais. Mieux vaut donc le laisser s'en aller. D'un autre côté, il faut que nous facilitions au client qui veut décidément de la lumière électrique, l'accomplissement de son désir, en établissant un prix modéré de vente, et l'on devra se borner à cette clientèle, dont le nombre s'accroît lentement mais sûrement, au lieu de chercher à gagner à tout prix des clients qui vous quittent au premier moment où ils voient qu'ils trouveraient meilleur compte ailleurs.

S'il y a maintenant des *rabais* à accorder, il faudrait les mettre sur une base *juste* et équitable. Si nous donnons par exemple du rabais après un certain nombre de lampes-heures par an, il se peut très bien que ce nombre soit atteint dans l'hiver, dans une période de l'année où nous avons beaucoup à faire, tandis que pendant l'été ce même client ne consommera rien. Il aura donc eu du rabais après une consommation qu'il aurait faite dans tous les cas, puisque la lumière électrique lui est une nécessité et il l'aurait faite même s'il n'avait pu compter sur aucun rabais. Il se peut aussi qu'un client qui préfère brûler du gaz en hiver use de la lumière électrique seulement en été, et celui-là n'aura pas de rabais, parce que, avec sa consommation restreinte, il n'atteindra pas le nombre de lampes-heures annuelles demandées. Pourtant ce dernier client a rendu service à l'entreprise électrique, en lui prenant du courant dans une période où l'usine travaille à perte. Pour être juste, il faudrait donc accommoder les rabais non à un nombre déterminé de consommation annuelle, *mais il faudrait les mettre en rapport avec la période de l'année dans laquelle cette consommation a eu lieu.*

Etant donnée la totalité de lampes-heures fournies par une station centrale à ses abonnés, et en divisant cette somme par le nombre des lampes installées, on trouve pour chaque lampe une moyenne annuelle de fonctionnement qui reste assez constante.

En comparant les résultats de six années, nous avons trouvé, par exemple, pour notre station de Budapest, que la moyenne était

En 1894	440	heures par an pour chaque lampe installée
1895	454	» » »
1896	462	» » »
1897	420	» » »
1898	418	» » »
1899	448	» » »

Je peux donc compter, presque avec certitude, que chaque lampe ajoutée à notre réseau me fournira environ 440 heures de fonctionnement par an, et c'est sur cette moyenne que je dois baser mon prix de vente du courant. Puisque cette moyenne ne varie pas beaucoup, je l'appellerai la *moyenne assurée* de fonctionnement.

Si maintenant nous subdivisons cette moyenne en douze parts, en faisant le pourcentage de chaque mois, nous trouvons que le fonctionnement se comporte dans les différents mois de la façon suivante :

En Janvier	13,6 p. 100	En Juillet	2,2 p. 100
Février	11,4 »	Août	3,2 »
Mars	8,2 »	Septembre	6,6 »
Avril	6,6 »	Octobre	11,4 »
Mai	4,3 »	Novembre	14,5 »
Juin	2,8 »	Décembre	15,2 »

Ce pourcentage moyen peut, dans certains cas, sensiblement différer du pourcentage réel. Il y a, par exemple, des particuliers consommant beaucoup plus de courant en février qu'en janvier, et

qui ne consommeront presque rien en décembre. Il y a des commerçants qui n'usent pas de la lumière électrique en été et il y en a d'autres qui en consomment plus en été qu'en hiver. Mais il est absolument impossible de prendre en considération toute la variété de ces cas anormaux, et nous devons nous en tenir à des circonstances normales, à une moyenne ordinaire, en un mot à notre moyenne assurée.

Si l'on veut être très scrupuleux, on peut ranger les clients en différentes classes, par exemple : appartements privés, boutiques, restaurants, cafés, et l'on pourrait établir, pour chaque classe séparément, le pourcentage mensuel. Mais on trouvera que le pourcentage ne varie pas beaucoup et qu'on compliquerait inutilement le système en y introduisant trop de variantes. Restons donc à une seule et unique moyenne.

Je sais donc, par elle, que chaque nouvelle lampe ajoutée à notre réseau va me fournir 59 heures de fonctionnement en janvier, 50 heures en février, 36 en mars, etc.

Sur ce nombre d'heures, je peux compter avec assurance, c'est mon revenu assuré, et là-dessus je n'accorde aucun rabais sur mon prix de vente.

Mais je considère tout ce que j'obtiens en plus sur cette moyenne, pour ainsi dire comme une bonne fortune, comme une recette en surplus, que j'ai intérêt à augmenter dans la mesure du possible. Je ne peux l'augmenter qu'en accordant des rabais considérables sur ces extras.

L'usine n'a presque rien à faire en juin, juillet, août, je peux donc pendant ces trois mois donner les rabais les plus hauts, frisant presque le prix de revient. Je ne peux accorder le même taux au mois d'avril, mai et septembre, puisque dans ces mois la demande de courant est déjà plus sensible, et je devrais logiquement ne donner que peu de rabais aux consommateurs ordinaires pendant les mois d'octobre, novembre, décembre, janvier et février, puisque dans cette période je ne peux pas satisfaire à toutes les demandes de consommation qui m'affluent.

Je peux donc établir *trois classes de rabais* pour le surplus de consommation en dehors de la moyenne assurée :

1° *Rabais pendant la période de la plus haute consommation :* octobre, novembre, décembre, janvier et février ;

2° *Rabais pendant les mois de consommation moyenne :* mars, avril, mai et septembre ;

3° *Rabais pendant les mois de la saison morte :* juin, juillet et août.

L'établissement du taux de ce rabais dépend naturellement des circonstances locales et du prix de vente. A plusieurs stations il sera facile d'accorder en été des rabais sur le surplus de consommation, allant jusqu'à 60 p. 100 du prix normal de vente. On pourra accorder 40 p. 100 pour la période de consommation moyenne et 20 p. 100 pour les mois d'hiver.

Exemple : Un client aura déclaré 20 lampes installées.

En prenant, par exemple, 440 lampes-heures pour la moyenne assurée, ce client devra fournir en :

Janvier	$20 \times 60 = 1200$	lampes-heures	le surplus sera compté avec 20 p. 100 de rabais.
Février	$20 \times 50 = 1000$	»	
Mars	$20 \times 36 = 720$	»	le surplus sera compté avec 40 p. 100 de rabais.
Avril	$20 \times 29 = 580$	»	
Mai	$20 \times 19 = 380$	»	
Juin	$20 \times 12 = 240$	»	le surplus sera compté avec 60 p. 100 de rabais.
Juillet	$20 \times 10 = 200$	»	
Août	$20 \times 14 = 280$	»	
Septembre	$20 \times 29 = 580$	»	le surplus sera compté avec 40 p. 100 de rabais.
Octobre	$20 \times 50 = 1000$	»	le surplus sera compté avec 20 p. 100 de rabais.
Novembre	$20 \times 64 = 1280$	»	
Décembre	$20 \times 67 = 1340$	»	
Total :	$20 \times 440 = 8800$	»	

L'idée sur laquelle se base ma proposition est de mettre le rabais en proportion avec les différents stages de la production. Le client qui me prend du courant dans un temps où il y a peu de

preneurs aura, dans ce temps, un rabais beaucoup plus élevé que s'il me demandait le même courant dans une époque où les preneurs ne manquent pas. Je considère le courant comme une marchandise dont le prix doit différer suivant l'affluence des demandes. J'en exclus une certaine quantité : la moyenne assurée qui trouvera toujours acheteurs ; mais ce qui est *en plus* de cette moyenne doit être vendu à rabais et ce rabais doit varier selon la densité des demandes.

Mon système ne demande l'aide d'aucun instrument enregistreur ; il se base sur les chiffres donnés par l'exploitation annuelle. Le client sait d'avance sur quel rabais il peut compter et quelle consommation il doit fournir pour avoir droit aux rabais différents. En variant les rabais selon les quatre temps et en accordant des rabais très élevés en été, on réussira à amener des clients qui, pendant neuf mois, n'useront pas de lumière électrique, mais qui, en hiver, en prendront parce qu'elle leur devient une nécessité. Si nous accordons à cette classe de clients carrément des rabais très élevés sans leur demander aucune autre garantie annuelle, nous augmenterons avec cela la rentabilité de nos stations centrales qui, en été, est très souffrante.

DÉPOTS ÉLECTROCHIMIQUES, par Henri Bouilhet.

I. Dépot électrochimiques du chrome. — Nous assistons, depuis quelques années, à une véritable renaissance de l'Art de la Médaille. Des maîtres comme Chaplain, Chapu, Daniel Dupuy, Roty et tant d'autres l'ont transformé et ont mis dans les mains de tous, sous une forme pratique et légère, de véritables bas-reliefs, fixant dans le métal les grands événements de notre époque, les traits des savants ou des artistes, les souvenirs de famille, empreints d'une vérité, d'une grâce et d'une poésie qui émeuvent.

Les dépôts électrochimiques des métaux n'y sont pas étrangers. La nouvelle école ne s'attache plus à faire preuve d'habileté dans le maniement du burin : la machine à réduire et le modèle de grande dimension exécuté par l'artiste et reproduit en cuivre galvanique suffisent à obtenir ces chefs-d'œuvre.

Mais le cuivre galvanique supporte mal le passage du stylet d'acier de la machine à réduire. Le dépôt galvanique du nickel à la surface du cuivre a rendu déjà de signalés services en durcissant la surface du métal. Mais il y aurait intérêt à rechercher si le chrome ne pourrait pas être déposé électrochimiquement et remplacer le nickel dans cette application, et à connaître si des essais ou des résultats de ce genre ont été déjà tentés ou obtenus à l'étranger.

II. Dépots de cuivre, de nickel, d'argent, d'or sur l'aluminium et ses alliages. — La légèreté de l'aluminium l'a fait employer dans la fabrication d'objets de bijouterie ou d'ustensiles familiers dans lesquels cette qualité trouvait une heureuse application.

Mais la couleur grise et terne de ce métal a toujours été un obstacle au développement de son emploi ; l'or et l'argent ne peuvent se déposer facilement à sa surface. Pour les rendre adhérents il faut recourir à des artifices tels que le dépôt préalable d'une couche de cuivre ou de nickel.

Il n'y a pas de procédé réellement pratique de dorure et d'argenture directe de l'aluminium. Il serait intéressant de connaître les essais qui ont pu être tentés dans ce sens et les résultats obtenus pour déposer l'or et l'argent sur l'aluminium, d'une manière adhérente et sans intermédiaire.

III. Documents statistiques donnant pour chaque nation : — 1° La quantité d'argent et d'or déposée annuellement par voie électrochimique ;

2° La quantité de cuivre électrolytique déposée annuellement :

a. Pour l'affinage ;

b. Pour la fabrication directe d'objets (tubes, fils, planches, reproductions, orfèvrerie, etc.) ;

3° La quantité de nickel électrolytique déposée annuellement.

La découverte des procédés de dorure et d'argenture galvanique a déterminé, depuis soixante ans qu'ils sont entrés dans le domaine de la pratique, une déperdition des matières précieuses qui entrent dans la consommation et sont destinées à disparaître de la circulation.

Cette consommation est aujourd'hui considérable. En connaître l'étendue est difficile, car il n'existe pas dans tous les pays de sources officielles telles que la Monnaie et les bureaux de garantie qui enregistrent les quantités de métal précieux livrées annuellement au commerce.

Si l'enquête est difficile à faire, elle n'est pas impossible. En s'adressant dans chaque pays aux affineurs de métaux précieux, on pourrait obtenir des documents qui, contrôlés dans un Congrès, permettraient de constituer une statistique dont l'intérêt est évident pour tous ceux qui s'occupent des questions monétaires et de l'influence de l'abondance ou de la rareté des métaux précieux dans les échanges internationaux.

C'est à l'électricité qu'on doit cette transformation de l'équilibre des métaux : c'est aux électriciens d'aujourd'hui qu'incombe le devoir de fixer dans quelles limites les dépôts galvaniques en surface sont intervenus ou interviendront dans la déperdition de l'or et de l'argent.

A titre de renseignement, j'extrais d'un Rapport publié sous la direction de M. Camille Krantz, commissaire général du Gouvernement français à Chicago, et rédigé par M. André Bouilhet, le document suivant :

Le poids d'argent employé à la fabrication des objets en argent massif est évalué à environ 5 millions d'onces (140 000 kg).

Le poids de l'argent vierge employé pour l'argenture est estimé à 3 millions d'onces, soit 84 000 kg.

Quant à l'argent vierge employé dans les autres industries similaires il est de 1 250 000 onces (35 000 kg).

Ce qui fait un total de 259 000 kg d'argent employé dans les arts, et ce chiffre est conforme à celui donné dans le Rapport de la Monnaie des États-Unis en 1892.

Les directeurs de la maison Gorham, qui nous ont confirmé ces évaluations, estiment que le montant total des affaires faites annuellement dans ce genre d'industrie peut être évalué à 12 millions de dollars (60 000 000 fr).

L'introduction de la machine Gramme dans l'Électrométallurgie a déterminé la création d'industries nombreuses pour l'affinage du cuivre et du nickel, et la production directe de matières premières ou d'objets ouvrés.

Nous avons pensé qu'il serait intéressant, au point de vue économique et au point de vue statistique, de connaître quel était le développement actuel de ces industries, et que l'on trouverait dans les savants et les industriels qui prendront part au Congrès des Electriciens d'utiles auxiliaires pour préparer les éléments de ces statistiques, et démontrer la part d'influence qu'a eue la machine Gramme dans le développement de la métallurgie.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

DÉCHARGE ÉLECTRIQUE

Extra-courant de rupture, par **K.-R. Johnson** (1).

Drudés. Annalen. t. II, p. 179-186, mai 1900.

Le circuit considéré renferme une bobine d'induction, une pile, un condensateur et un interrupteur. Les armatures du condensateur sont reliées aux pôles de l'interrupteur.

L'auteur admet que la décharge du condensateur se fait sous forme oscillante et trouve par un calcul bien connu, que la différence de potentiel maxima E_m entre les armatures du condensateur est

$$E_m = \frac{E_0}{R}\sqrt{\frac{L}{C}}\, e^{-\frac{\alpha}{\beta}\operatorname{arc\,tg}\frac{\beta}{\alpha}}$$

E_0 étant la force électromotrice de la pile R, L, C étant respectivement la résistance, la self-induction et la capacité ; α et β sont définis par

$$\alpha = \frac{R}{2L}, \quad \beta = \frac{\sqrt{1 - \frac{CR^2}{4L}}}{\sqrt{CL}}.$$

(1) Cf. Arons, *Écl. Élec.*, t. XVI, p. 210, juillet 1898.

La valeur du maximum dépend surtout du facteur

$$\frac{E_0}{R}\sqrt{\frac{L}{C}}.$$

Si ce facteur est assez grand, E_m est assez grand pour qu'il y ait étincelle de rupture : si non, il n'y a pas d'étincelle. Cette conclusion s'accorde avec les moyens recommandés en pratique pour supprimer l'étincelle de rupture : à savoir l'emploi d'une grande résistance ou d'un condensateur en dérivation, dont la présence a pour effet de diminuer E_m.

S'il y a étincelle, le phénomène devient plus compliqué. Une fois que l'étincelle a jailli, la différence de potentiel tombe : mais reste à savoir jusqu'à quelle valeur. Si on admet que cette différence a la même valeur après l'étincelle qu'auparavant, on aura de nouveau une décharge oscillante : mais ce n'est là qu'une hypothèse.

Si le condensateur est supprimé, la capacité se réduit à celle des électrodes : elle est très petite si on admet que le phénomène se passe comme précédemment, pendant un temps extrêmement court, la différence de potentiel acquerra une valeur suffisante pour provoquer l'étincelle et ensuite le condensateur se déchargera par oscillations.

Toutes ces considérations reposent sur l'hypothèse qu'après la décharge par étincelle la différence de potentiel est égale ou un peu supérieure à ce qu'elle était au début : c'est ce que semblent vérifier les mesures de Mizuno.

M. L.

Observations spectroscopiques sur l'interrupteur de Wehnelt, par **E. Hoppe**. *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXI, p. 508, 21 juin 1900.

La lumière de l'interrupteur de Wehnelt observée au spectroscope présente des spectres des vapeurs des métaux employés comme électrodes ; mais ces observations sont difficiles, car sauf le platine, les métaux se volatilisent trop rapidement. La méthode de M. Hoppe permet des observations beaucoup plus commodes.

Un tube de verre effilé en pointe était traversé par un fil de platine : lorsqu'on remplissait le tube de mercure, celui-ci ne s'écoulait pas et baignait le fil. Ce tube servait d'électrode négative dans un bain d'eau acidulée ; l'électrode positive était quelconque. Si l'on faisait passer un faible courant, le mercure commençait à descendre le long du fil de platine : à tension constante, la vitesse de circulation du mercure est proportionnelle à l'intensité. Ce phénomène semble être dû à une action électrodynamique. Le courant qui arrive se divise en deux parties l'une qui passe par le fil de platine, l'autre qui traverse le mercure ; les deux courants sont parallèles et de même sens et s'attirent.

Si on augmente l'intensité jusqu'à la formation de l'effet Wehnelt, la lumière est notablement différente de celle de l'interrupteur ordinaire. Au voisinage immédiat du fil de platine incandescent, le spectre du platine prédomine ; si on dirige la fente du spectroscope sur le fil lui-même on obtient un spectre continu, mais qui présente aussi les raies claires du platine. Mais à côté des raies du platine se montrent celles du mercure, d'autant plus nettes que l'on s'éloigne davantage du fil. Ce spectre offre cette particularité que les raies de l'ultra-violet sont très nettes contrairement à ce que l'on observe d'habitude.

Un inconvénient de cette méthode, c'est que la formation d'oxyde et de sulfure de mercure finit par troubler la liqueur et rend l'observation impossible. D'autre part le spectre est d'autant plus intense qu'il s'écoule plus de mercure ; mais alors la liqueur devient noire au bout de quelques minutes.

On peut supprimer entièrement le fil de platine. A cet effet on prend un tube capillaire, d'ou le mercure commence par ne pas sortir. Pour le forcer à s'écouler on munit le tube de verre d'un tube de caoutchouc à sa partie supérieure et on exerce une pression au moment où le courant passe : il ne se forme pas alors de bulle d'air et le mercure filtre régulièrement. Si l'intensité atteint 12 ampères on a l'effet Wehnelt et le spectre obtenu est extrêmement net.

Ces expériences ont été répétées en remplaçant le mercure par des solutions salines. Un tube rempli d'une solution saline est placé dans le récipient de l'interrupteur de Wehnelt et se vide par diffusion. Mais avec les plus fortes intensités on n'obtient pas l'effet de Wehnelt : il y a seulement électrolyse à la surface du fil d'amenée de courant. Mais si on met dans le tube un fil de platine comme dans la première expérience, l'électrolyte s'écoule le long de ce

fil. On obtient ainsi l'effet de Wehnelt et la flamme présente non seulemeut le spectre du platine mais encore celui du métal du sel dissous. On observe les spectres des solutions de sulfures de cuivre, fer, zinc, qui ne donnent dans la flamme Bunsen qu'un spectre très incomplet du métal. Ici au contraire les raies sont d'une netteté remarquable surtout dans le violet. Il est inutile de prendre des solutions saturées. Avec cette méthode on peut observer un spectre pendant plusieurs heures, car l'acide sulfurique ne se trouble que très lentement.

Au lieu de mettre dans le tube de verre des dissolutions salines, on peut y mettre des sels pulvérisés ; aussitôt qu'ils commencent à se dissoudre dans la petite colonne d'acide sulfurique qui monte dans le tube, le spectre présente les raies métalliques Il n'est même pas nécessaire de prendre un sel soluble, mais il faut alors que l'ouverture du tube soit assez large pour que la poudre puisse y passer. La petite quantité d'acide sulfurique qui monte dans le tube humecte la poudre et en facilite la sortie, puis la poudre brûle à la flamme de l'interrupteur et le spectre apparaît. Ainsi le calomel montre des raies aussi nettes que le mercure; mais on a l'avantage qu'avec le calomel la combustion est si rapide que le trouble de la liqueur n'apparaît que bien après. E. B.

Production des rayons X au moyen d'une batterie d'accumulateurs, par **John Trowbridge.** *Philosophical Magazine*, t. L. p. 132, Juillet 1900.

L'auteur emploie à cet effet une batterie d'accumulateurs composée de 20 000 éléments qu'il a récemment installée au laboratoire de Physique de l'Université de Harvard (Etats-Unis, Amérique) et qui peut donner à travers une très grande résistance un courant relativement constant. Le tube à rayons X employé est du genre de ceux qu'on emploie couramment pour produire ces rayons au moyen d'une bobine d'induction, et il est relié aux pôles de la batterie par l'intermédiaire d'une grande résistance. On commence par chauffer le tube au moyen d'un bec Bunsen jusqu'à une certaine température critique qui est indiquée par une vive fluorescence du verre qui constitue le tube ; la production des rayons X est annoncée par une coloration rouge cerise de la cathode (coloration produite par l'élévation de la température) ; à ce moment la quantité des rayons X dispersés par le tube atteint son maximum. La résistance utilisée par l'auteur était constituée par une colonne d'eau distillée ; elle était de l'ordre de 4×10^7 ohms. La valeur du courant qui traversait le tube ne dépassait donc pas trois ou quatre milliampères.

Les rayons X ainsi obtenus sont très intenses et les photographies que l'auteur a faites au moyen de ces rayons sont d'une netteté parfaite. Au premier abord, on est très frappé du silence de l'ensemble de l'appareil, surtout les personnes qui ont déjà employé les autres méthodes pour produire ces rayons, car, en effet, la bobine étant supprimée, tout le bruit qui provenait de son trembleur est complètement éliminé.

L'avantage de cette nouvelle méthode de produire les rayons X est la possibilité de régler la différence de potentiel nécessaires pour exciter le tube producteur de rayons. La grande résistance utilisée par l'auteur dans le circuit (des 40 000 volts) des accumulateurs indique qu'il ne parait pas impossible de produire ces rayons au moyen d'une pile beaucoup plus faible (20 000 volts et au-dessous), seulement c'est le tube qui demanderait alors une construction spéciale.

Cette résistance, comparativement énorme, est nécessaire surtout pour éliminer complètement les oscillations électriqnes qui auraient pu se produire dans le circuit et c'est précisément de la constance du sens du courant que dépend la production des rayons X ; la valeur de cette résistance doit d'ailleurs être telle, comme nous l'avons déjà dit, que l'anticathode soit portée au rouge cerise. Si l'anticathode est porté au blanc la résistance du tube diminue brusquement et les rayons X qui dans le cas précédent étaient très brillants perdent beaucoup de leur intensité ; la diminution de la résistance du tube provient de ce qu'une haute température chasse les gaz qui adhéraient par occlusion sur l'anode et la cathode. Ce fait est d'une importance capitale pour le mécanisme de la production des rayons X. Citons un *experimentum crucis* décrit par le Dr Rollins, de Boston qui éclaire beaucoup cette assertion. M. Rollins emploie deux *tubes focus* reliés ensemble par un tube latéral (disons un double tube à rayons X) ; il fait le vide dans les deux tubes à la fois en le poussant très loin et il chauffe ensuite un de ces tubes jusqu'à ce qu'une différence de potentiel suffisante pour

produire une étincelle de 2,5 cm dans l'air soit également suffisante pour exciter le tube de façon à produire des rayons X excessivement intenses ; si à ce moment on essaie, par tâtonnements, à exciter l'autre tube (qui n'est pas chauffé) on trouve qu'une différence de potentiel correspondant à une étincelle de 20 cm dans l'air est impuissante à faire briller ce tube. Ceci nous montre de la façon la plus évidente que ce n'est pas le degré de vide qui intervient en première ligne de compte pour le production de ces rayons, mais que c'est bien l'occlusion des gaz sur la surface des électrodes et des parois du tube qui intervient de la manière la plus directe.

Si l'on emploie le courant continu de la batterie d'accumulateurs ci-dessus on peut suivre toutes les phases de ce mécanisme de production de rayons X. D'abord quand on chauffe le tube jusqu'à la température que l'auteur appelle critique on remarque immédiatement l'apparition d'un nuage bleu qui entoure l'anode et qui est rencontré par le faisceau de rayons émanant de la cathode ; si, ensuite, on fait diminuer graduellement la résistance pour augmenter la valeur du courant produit par la batterie, ce nuage bleu se dissipe pour remplir tout le tube : à ce moment l'anticathode est portée au rouge blanc et les rayons X cessent de se produire. Maintenant, si on fait augmenter de nouveau la résistance jusqu'à ce que l'anticathode soit revenue au rouge cerise le petit nuage se contracte petit à petit et redescend pour entourer l'anode pendant que les rayons X recommencent à briller avec éclat.

La disparition du petit nuage bleu correspond à une augmentation de la résistance du tube et si le courant reste constant, le tube s'éteint complètement : pour le rallumer on est obligé de recommencer le chauffage.

Le phénomène de l'occlusion des gaz dans les tubes à rayons X a une importance très considérable pour l'étude du passage des gaz à travers un espace vide (ou raréfié), aussi l'auteur, M. Trowbridge, s'est proposé de suivre le phénomène à partir d'un vide correspondant à une ou deux millimètres de pression jusqu'à un vide suffisant pour la production des rayons X. Le tube employé était de construction spéciale : une de ses extrémités était soufflée en ampoule ; cette forme spéciale du tube est très utile pour étudier le spectre des décharges et d'autre part elle est très commode pour pouvoir chauffer fortement le tube.

Voici maintenant les résultats des observations de l'auteur :

Si on fait le vide dans le tube de manière que la décharge y passant soit striée, en reliant ce tube aux deux pôles de la batterie on remarque que l'intensité et la forme des stratifications dépendent de l'intensité du courant de la pile : si on diminue la résistance le courant gagne en intensité et on remarque alors dans le tube la formation d'une décharge bleue striée qui se détache de l'anode et qui se continue à travers le tube capillaire (la partie étroite du tube), pour une certaine valeur du courant on remarque la formation d'une sorte d'onde stationnaire qui est due certainement à une rencontre des gaz provenant de l'anode qui ont été chassés par suite de l'élévation de la température de celle-ci, et des gaz provenant de la cathode. Maintenant si le courant diminue d'intensité les stratifications disparaissent dans la partie étroite du tube pour renforcer les stratifications autour de l'anode qui maintenant se trouvent être plus intenses que celles qui entourent la cathode.

On est ainsi amené à constater que la production des rayons X est intimement liée aux deux faits suivants : occlusion des gaz dans les électrodes et transport de ces gaz d'une électrode vers l'autre. Ce dernier fait constitue ce qu'on appelle le bombardement moléculaire.

Ajoutons que le tube dont s'est servi M. Trowbridge était rempli avec de l'hydrogène sec obtenu par l'électrolyse de l'acide phosphorique et de l'eau distillée ; le gaz était desséché en le faisant traverser des tubes contenant de la potasse caustique et de l'anhydride phosphorique.

On pourrait remplacer avantageusement la résistance d'eau distillée employée par l'auteur par la résistance de Hittorf (iodure de cadmium dans l'alcool amylique) surtout pour des expériences quantitatives. Eugène NÉCULCÉA.

Sur la vitesse des rayons cathodiques et sur la conductivité électrique des gaz, par **Battelli** et **Stefanini**. *Il Nuovo Cimento*, t. X, p. 324, novembre 1899.

MM. Battelli et Stefanini se sont proposés d'apporter quelque éclaircissement à la question

de savoir si les rayons cathodiques sont dùs à un mouvement ondulatoire de l'éther ou à des particules électrisées lancées par la cathode. Leurs expériences ont eu pour sujet l'étude de la vitesse de ces rayons cathodiques.

Les premières expériences de J.-J. Thomson ont conduit à la vitesse de 200 km.-sec. (1), Majorana a trouvé 600 km.-s. (2). Les résultats plus récents de J.-J. Thomson (3) conduisent à des valeurs d'un ordre de grandeur tout différent, la vitesse serait voisine de celle de la lumière ; Lenard (4), Wien (5) et Kaufmann (6) obtiennent le même résultat par une méthode analogue (observation de la courbure que subissent les rayons quand ils traversent un champ magnétique ou électrostatique) et Wiechert (7) par une méthode toute différente.

La méthode de MM. Battelli et Stefanini est la suivante : un électromètre à quadrants E (fig. 1) est relié successivement à diverses électrodes-sondes disposées le long d'un long tube de décharge T d'un même côté de la cathode. S'il y a un retard entre l'instant où l'électrode

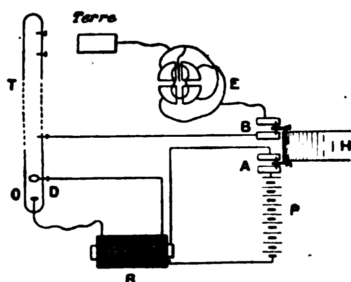


Fig. 1.

est frappée et celui où l'aiguille commence à dévier, ce retard est indépendant de la position de l'électrode.

(1) *Phil. Mag.*, série 5, t. XXXVIII, p. 358, 1894 et t. 44, p. 315, 1897.

(2) *Il. Nuovo Cimento*, s. 4, t. VI, p. 336, 1897. *L'Éclairage Électrique*, t. XIII, p. 335, 1897.

(3) *Phil. Mag.*, série 5, t. XLIV, p. 293, 1897.

(4) Lenard. *Wied. Ann.*, t. 64, p. 279, 1898. *L'Écl. Élect.*, t. XV, p. 124.

(5) Wien. *Verh. d. physik. Ges. zu Berlin*, p. 165, 1897 et p. 10, 1898. *L'Écl. Élect.*, t. XVI, p. 557.

(6) Kaufmann. *Wied. Ann.*, t. 65, p. 431, 1898, *L'Écl. Élect.*, t. XVII, p. 114.

(7) Wiechert. *Götting. Nachr. math. phys. Classe*, p. 292, 1898.

La charge nécessaire à faire dévier l'aiguille étant très petite vis à vis de celle transportée par les rayons cathodiques, l'effet de la diminution de l'intensité du faisceau avec la distance est négligeable.

Le courant d'un batterie P traverse l'inducteur de la bobine R et le contact A porté par un micromètre qui permet de déplacer verticalement le contact. Les fils de l'induit communiquent avec la cathode O et l'anode D, formée d'un anneau en fil de platine. Des électrodes formées d'un fil normal à l'axe sont placées le long du tube à 50 cm de distance, une d'elles communique avec un autre contact B muni d'un micromètre, l'autre pièce de ce contact est reliée à l'électromètre. Quand on interrompt le contact A, il y a décharge et les rayons cathodiques portent une charge électrique sur toutes les électrodes, mais si B est interrompu aussi avant que les rayons arrivent sur l'électrode correspondante, l'électromètre ne pourra dévier. En faisant varier l'intervalle qui sépare la rupture en A puis en B, on pourra déterminer l'instant dans lequel chaque électrode commence à recevoir la charge.

L'interrupteur nécessairement très rapide est constitué par une roue de 1 m de diamètre, mue par une dynamo et munie de deux couteaux qui rompent successivement les deux contacts. Avec une vitesse de 25 tours par seconde, on obtient une vitesse périphérique de 75 m.-sec. qui permet de mesurer $\frac{1}{1\,500\,000}$ de seconde correspondant à $\frac{1}{20}$ mm de distance verticale entre les deux contacts. Chaque couteau passe entre deux supports sur lesquels repose une lame de bismuth ou d'un alliage très fragile de bismuth et de zinc qui est maintenue par un ressort. Les supports sont portés par des micromètres. Quand la roue est à la vitesse constante on l'approche des deux tiges qui sont ainsi rompues par les deux couteaux. L'étincelle d'ouverture est aussi sans influence nuisible, en tous cas, sa durée reste la même dans les diverses expériences.

Les auteurs ont ainsi observé une vitesse de 60 km.-sec. pour une pression de 0,005 mm de mercure et une chute de potentiel de 25 000 volts et 120 km-s. pour 0,001 de mercure et 120 000 volts.

Ainsi, mesurant la vitesse de la décharge par

l'effet direct produit par les particules électrisées, on obtient des valeurs bien moindres que celles auxquelles on arrive lorsqu'on applique à ces particules les lois de la déviation que subissent dans un champ électrostatique ou magnétique les masses en mouvement chargées d'une quantité déterminée d'électricité.

Si l'on suppose que les particules qui transportent la décharge sont celles auxquelles sont dus les phénomènes lumineux, on peut mesurer la vitesse de déplacement en appliquant le principe de Doppler. Les auteurs ont obtenu un résultat négatif dans ces recherches, d'où ils concluent que les phénomènes lumineux qui se présentent dans le faisceau cathodique n'ont pas leur siège dans les particules qui transportent l'électricité.

MM. Battelli et Stefanini par leurs expériences et par les nombreux autres faits acquis sur le même sujet [1] se rangent à l'avis que la décharge dans les gaz est accompagnée d'importantes modifications chimiques, probablement une dissociation des molécules qui met en liberté les ions, lesquels sont ensuite renvoyés par les électrodes avec une vitesse plus ou moins grande suivant le degré de raréfaction. G. G.

Variation de la conductibilité d'un gaz sous l'influence d'un courant continu, par **J. Stark**, t. II, p. 62-72, mai 1900.

Plusieurs observateurs ont reconnu que la vitesse des ions négatifs dans la décharge à travers les gaz est en général plus grande, et, en tous cas, n'est jamais plus petite que celle des ions positifs. Il s'ensuit que par le passage du courant, le nombre des ions doit augmenter au voisinage de l'anode et diminuer au voisinage de la cathode ; la conductibilité doit varier dans le même sens.

Il est difficile de vérifier par l'expérience cette dernière conclusion au moins directement, c'est-à-dire en employant le même courant pour dissocier le gaz et pour mesurer la conductibilité. Mais on peut y parvenir en faisant passer un courant à travers le gaz déjà dissocié, dans une direction normale à celle du courant principal : nous appellerons ce courant *transversal* par opposition au courant principal ou *longitudinal*. Ou encore on peut faire passer le courant transversal devant une électrode portée à l'incandescence, qui provoque aussi une dissociation du gaz. Effectivement on trouve que pour une même force électromotrice, le courant transversal a toujours une intensité plus grande quand il passe au voisinage de l'anode [1].

La loi d'Ohm ne peut s'appliquer aux gaz dont la conductibilité spécifique est variable. On peut obtenir l'expression de la loi réelle en partant des hypothèses suivantes :

1° Le courant est continu sur tout son parcours.

2° La conductibilité spécifique du gaz est proportionnelle au nombre des ions.

3° Cette conductibilité ne doit éprouver aucune autre variation que les variations résultant du déplacement des ions.

En réalité, ces conditions ne seront remplies que dans des circonstances particulières ; mais les conclusions obtenues pourront cependant renseigner sur l'allure générale des phénomènes.

Parmi les causes qui influeront sur la conductibilité, se place au premier rang l'accumulation au voisinage des électrodes des ions mis en liberté : ces ions ne se diffusent que peu à peu dans la masse du gaz et leur présence à l'électrode accroît la résistance. En tenant compte de cette circonstance, on trouve que :

La conductibilité spécifique, quand le courant est continu, ne peut avoir au voisinage de la cathode qu'une seule valeur singulière, à savoir un maximum : au voisinage de l'anode, elle n'aura, en général, qu'un maximum relatif. Entre ces deux maxima ne peut exister, si le courant est continu, qu'un seul minimum.

M. L.

[1] J. Thomson et Rutherford. *Philosoph. Magaz.*, s. 5, t. XLII, p. 392, 1896. — Bouty. *Comptes Rendus*, t. CXXIX, p. 152, 1899. *L'Éclair. Élec.*, t. XX, p. 198.

[1] Cf. Stark. *L'Éclairage Électrique*, t. XXI, p. 239, novembre 1899.

Le Gérant : C. NAUD.

Tome XXIV. | Samedi 22 Septembre 1900. | 7e Année. — N° 38

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

L'EXPOSITION UNIVERSELLE

ACCUMULATEURS POLLAK

La Compagnie Générale Électrique qui a son exposition classe 24, est concessionnaire exclusif, pour la France et les Colonies, des accumulateurs Pollak qu'elle fabrique dans son usine de Nancy.

Plaques. — Les plaques positives et négatives sont constituées de la même façon : un ruban de plomb doux est laminé entre des cylindres qui portent des dents de forme spéciale ; à la sortie, le ruban est transformé en une plaque à âme présentant à sa surface une série d'aspérités et possédant de plus un certain nombre de nervures verticales et horizontales destinées à en augmenter la solidité mécanique (1).

A ces bandes de plomb qu'on découpe en plaques de dimensions déterminées, on vient souder les queues de prise de courant et de suspension.

Les plaques sont ensuite empâtées de sels de plomb qu'on réduit en plomb spongieux par électrolyse. Après cette opération, on comprime le plomb spongieux ainsi obtenu, sur lequel viennent alors se rabattre les petites languettes du quadrillage.

Pour obtenir les positives, on peroxyde ces plaques par le courant. On obtient ainsi des plaques du type mixte Faure-Planté, qui au début travaillent par leur matière active empâtée, et en plus, au bout d'un certain temps, par leur support, dont le plomb doux s'est peroxydé peu à peu par formation Planté.

Il résulte de cela que la capacité reste stable malgré la chute de la matière ; dans le mode de fabrication, d'ailleurs, on a eu en vue de rendre aussi parfaite que possible l'adhérence

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. XXII, p. 133, 27 janvier 1900.

de la matière au support et celle-ci est telle que la plaque peut être pliée assez fortement sans qu'il en résulte, d'après les fabricants, aucun inconvénient.

Pour répondre aux différents besoins, la Compagnie générale électrique construit deux modèles distincts de ce type de plaques positives. Ces deux modèles ne diffèrent que par le nombre de saillies que possèdent les plaques à leur surface. Ainsi pour les plaques ordinaires des types S et T (voir fig. 2), le nombre d'aspérités est beaucoup moins grand que pour le type R (fig. 1), qui se rapporte aux éléments à charges et décharges rapides.

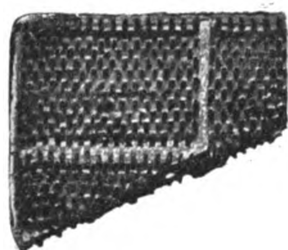


Fig. 1 — Plaque positive type R pour charges et décharges rapides.

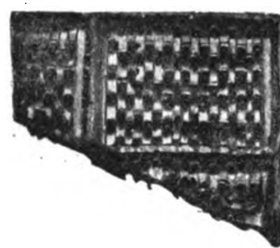
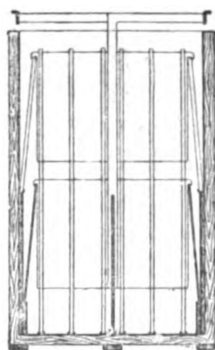


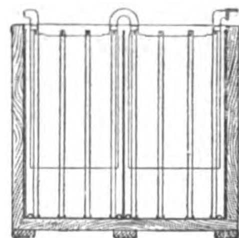
Fig. 2. — Plaque positive types S et T pour charges et décharges lentes.

Dans ce dernier cas, la plaque est plus lourde et renferme plus de matière active. C'est ainsi que par rapport au poids total de la plaque, les positives S ont 29 p. 100 de matière active ; tandis que les positives R n'en ont que 22,9 p. 100. Pour toutes les négatives, ce rapport est de 29 p. 100.

Eléments à poste fixe. — Pour les décharges lentes, on emploie les plaques type S ; celles du type R sont employées pour les éléments à décharge rapide.

Pour les petits éléments, le montage est effectué dans des bacs en verre, chaque plaque étant supportée par deux tubes de verre, au moyen de deux crochets qu'elle porte à la partie supérieure. L'écartement est obtenu à l'aide de tubes de verre retenus par des pincettes soudées sur les plaques. Des ressorts en plomb dur maintiennent le tout.





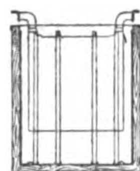


Fig. 3 à 5. — Divers types de montage.

Les gros éléments ont leurs bacs en bois doublé de plomb ; leurs électrodes sont composées de plusieurs plaques, deux ou quatre. Dans le cas d'électrodes à deux plaques, le montage se fait comme ci-dessus et les deux plaques sont reliées par une bande de plomb en forme de demi-cercle. Lorsque les électrodes sont composées de quatre plaques, celles-ci sont disposées symétriquement des deux côtés d'une bande prismatique de plomb servant à conduire le courant et avec laquelle elles sont reliées par un des angles supérieurs. Elles sont suspendues, d'autre part, par de forts appendices sur des tubes de verre qui reposent dans une rainure pratiquée dans une saillie de la paroi du récipient ; les plaques inférieures appuient sur des dalles de verre.

Ces différents montages sont représentés schématiquement dans les figures 3 à 5.

Nous donnons dans le tableau ci-dessous les principales constantes relatives à deux éléments de ce type.

Type de l'élément / Nature du bac		Petit élément S_7 verre	Gros élément S_{29} bois doublé de plomb
Dimensions extérieures du bac	hauteur en mm	380	385
	longueur »	205	1020
	largeur »	280	340
Nombre de plaques		7 + et 8 —	29 + et 30 —
Dimensions des plaques	hauteur en mm	230	230
	largeur »	230	230
	épaisseur »	7 (+) 5 (—)	7 (+) 5 (—)
Poids d'une plaque positive en kg	quadrillage	2,20	2,20
	matière active	0,90	0,90
Poids d'une plaque négative en kg	quadrillage	1,70	1,70
	matière active	0,70	0,70
Poids de plaques positives, en kg		21,70	89,90
» » négatives »		16,80 environ	69,60 environ
» total d'électrodes »		38,50 »	159,50 »
» d'eau acidulée à 19° B »		17,00	90,00
» total de l'élément »		56,00	324,00
Capacités aux différents régimes	10 heures	225 amp.-h. à 22,5 amp.	1205 amp.-h. à 120,5 amp.
	9 »	216 » 24 »	1179 » 131 »
	8 »	213 » 27 »	1144 » 143 »
	7 »	210 » 30 »	1113 » 159 »
	6 »	198 » 33 »	1080 » 180 »
	5 »	190 » 38 »	1035 » 207 »
	4 »	180 » 45 »	984 » 246 »
	3 »	165 » 55 »	909 » 303 »
Intensité maxima du courant de charge		40 amp.	226 amp.

On a vu plus haut que les plaques étaient construites de façon à assurer une capacité stable aux éléments. En pratique même on constate une augmentation de capacité avec le fonctionnement ainsi qu'une élévation de la différence de potentiel utile. C'est ce qu'indi-

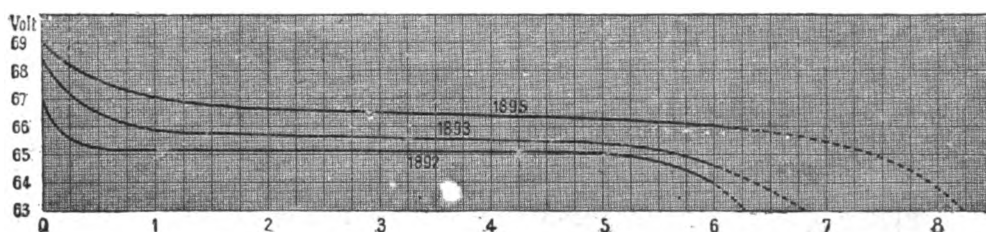


Fig. 6. — Courbes d'essais d'une batterie de 35 éléments type S_6.

quent clairement les courbes de la figure 6, données par le constructeur et qui expriment la différence de potentiel d'une batterie de 35 éléments type S_6, ayant 6 positives du type décrit ci-dessus. Dans les trois cas, les décharges avaient lieu au régime de 27 ampères. La courbe la plus basse se rapporte au huitième jour de la mise en marche, 23 juillet 1892 ; un deuxième essai fait le 8 août 1893 donne une courbe plus élevée et une capacité un peu plus grande. Cette augmentation s'accentue encore au troisième essai effectué le 20 avril 1895.

Eléments à décharge rapide. — Pour ces éléments on emploie les plaques positives type R qui diffèrent des autres, comme on a vu, par leur plus grand nombre d'aspérités, et un poids de matière active plus faible.

Ces éléments s'appliquent principalement aux batteries-tampon ; le montage est le même que celui des éléments type S.

Dans le tableau suivant on trouvera les principales caractéristiques de l'élément R_{29}, exactement monté comme l'élément précédent S_{29} et pour lequel nous ne donnons que les valeurs qui diffèrent de celui-ci.

Poids d'une plaque positive en kg	quadrillage	2,30 à 2,40		
	matière active	0,70		
Poids total de positives, en kg		87 à 90		
Capacités aux différents régimes	3 heures	909 amp.-h.	à 303 amp.	
	2 »	788 »	394 »	
	1 »	621 »	621 »	
Intensité maxima du courant de charge		405 amp.		

Pour ces deux catégories d'éléments R et S, la Compagnie générale électrique entreprend l'entretien pendant 10 ans, moyennant une redevance annuelle qui varie entre 3, 5 et 6 p. 100, suivant l'importance des batteries et la distance à l'usine.

Eléments de traction. — Les plaques utilisées ici sont du type T; à capacité égale, elles sont plus légères et moins encombrantes que les autres. Le montage est effectué dans des bacs en ébonite, les plaques reposant sur le fond par l'intermédiaire de pièces en ébonite qui portent des rainures en nombre égal à celui des plaques. Pour éviter leur déplacement, ces pièces ont à chaque extrémité une rainure qui vient s'engager dans une nervure en ébonite fixée au bac. La fermeture est obtenue par deux couvercles superposés. Entre les plaques existent des séparations en ébonite, perforées et à nervures qui maintiennent l'écartement.

Nous donnons ci-dessous quelques chiffres relatifs à un élément pour automobile.

Type de l'élément		T_4
Nature du bac		Ebonite
Dimensions extérieures du bac	hauteur, en mm	280
	longueur »	182
	largeur »	96
Nombre de plaques		4 + et 5 —
Dimensions des plaques (+ et —)	hauteur, en mm	180
	largeur »	180
	épaisseur »	5
Poids d'une plaque positive en kg	quadrillage	1,40
	matière active	0,42
Poids d'une plaque négative en kg	quadrillage	1,00
	matière active	0,40
Poids de plaques positives, en kg		7,28
» » négatives, »		5,60 environ
» total d'électrodes »		12,88 »
» d'eau acidulée à 23° B »		2,90
» total de l'élément »		16

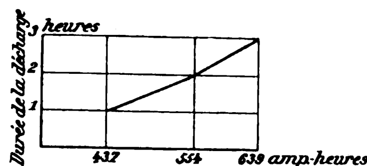
Capacités aux différents régimes	5 heures	80 amp.-h.	à 16 amp.
	4 »	75 »	19 »
	3 »	68 »	23 »
	2 »	60 »	30 »
	1 »	48 »	48 »

Dans les figures 7, 8 et 9 ont été tracées les courbes de variation de la capacité spécifique en fonction de la durée de la décharge pour les trois types d'accumulateurs ci-dessus décrits R, S et T. Les capacités spécifiques ont été exprimées ici en ampères-heure par 100 kg de plaques.

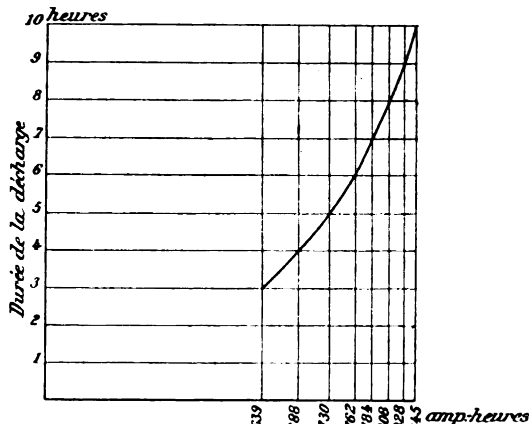
Pour les éléments d'inflammation, les plaques employées sont du type T mais de dimensions plus petites; les bacs sont en celluloïd ou en ébonite.

Pour l'éclairage des trains, on emploie également les plaques T avec bacs en celluloïd. La Compagnie Générale Électrique qui construit le système d'éclairage Vicarino combine d'ailleurs les accumulateurs avec une dynamo actionnée par l'essieu de façon à recharger les batteries pendant le trajet et à rendre les voitures indépendantes au point de vue de la charge des accumulateurs (1)

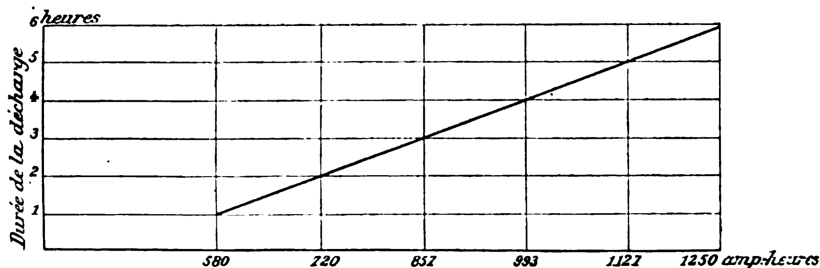
Les accumulateurs Pollak sont encore représentés à l'Exposition dans les sections



Type R



Type S



Type T

Fig. 7, 8, 9. — Courbes de variation de la capacité spécifique en fonction de la durée de décharge.

étrangères, par l'« Accumulatoren-Werke System Pollak Actien Gesellschaft » de Francfort-sur-Mein, et aussi par la fabrique d'accumulateurs système Pollak de Vienne. Sur l'exposition de cette dernière nous trouvons dans le *Zeitschrift für Elektrotechnik* 17 juin 1900, quelques renseignements intéressants au point de vue de la fabrication des plaques. L'empâtage notamment est fait avec du carbonate de plomb qui est réduit en plomb spongieux par électrolyse en solution alcaline.

Dans l'exposition de la fabrique de Francfort, nous signalerons une batterie de 250 petits éléments donnant une tension de 500 volts, et construite spécialement à l'usage des laboratoires scientifiques et industriels.

CHAUFFERETTES ÉLECTRIQUES PARVILLÉE POUR TRAMWAYS

Outre les modèles des appareils de cuisine électriques utilisés au restaurant La Feria (2), la Société des anciens établissements Parvillée frères présente dans son exposition

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. XXIII, p. 13, 7 avril 1900.

(2) *L'Éclairage Électrique*, t. XXIII, p. CXLII, 23 juin 1900.

de la classe 27 divers appareils de chauffage : braseros, chauffe-lits, chaufferettes, etc.

Grâce aux prix spéciaux auxquels quelques secteurs consentent à livrer l'énergie électrique pour certains usages, les appareils de cuisine ou de chauffage par l'électricité peuvent dès maintenant lutter avec les appareils au gaz toutes les fois où les avantages de la production d'énergie calorifique par l'électricité l'emportent sur l'inconvénient d'une dépense un peu plus élevée. Il est d'ailleurs un cas où la question d'économie se trouve résolue en même temps que celle du confortable et de l'hygiène : c'est le cas du chauffage des tramways au moyen de chaufferettes électriques.

Ces chaufferettes consistent en petites boites plates en tôle galvanisée, ayant 25 cm de longueur, 15 cm de largeur, 1,5 cm d'épaisseur et contenant une ou plusieurs résistances métallocéramiques Parvillée décrites antérieurement dans ce journal ([1]). Elles sont montées par groupes de 4 en série sur une dérivation prise sur le circuit d'alimentation à 500 volts du tramway. Elles consomment chacune 20 watts. Cinq minutes après la mise en marche la température, mesurée à la surface supérieure de la chaufferette, atteint 70° ; cinq minutes après la suppression du courant la température est encore de 35°.

L'emploi de ces chaufferettes nous paraît devoir donner satisfaction à la fois aux exigences du public et des compagnies. Une chaufferette se trouvant installée devant chacune des places, le voyageur ne sera pas obligé, comme il l'est actuellement avec le système à longues chaufferettes centrales installées dans les voitures de la Compagnie générale des Omnibus, d'allonger ses pieds pour les chauffer, gênant ainsi la circulation des autres voyageurs ; de plus, les dimensions de chaque chaufferette étant restreintes, il pourra très commodément placer ses pieds hors de la surface de chauffe lorsqu'il le jugera convenable. Certes ce système de chauffage par chaufferrettes ne permettra pas dans les voitures parisiennes, dont l'entrée n'a généralement pas de porte de fermeture d'obtenir à l'intérieur de la voiture une température bien élevée ; mais cela nous semble être un avantage, car dans nos climats, il est inutile et même il serait antihygiénique d'élever la température de l'intérieur des voitures de tramways jusqu'au point que nous recherchons pour les appartements ; le voyageur demande seulement de pouvoir effectuer le trajet sans avoir froid aux pieds.

D'un autre côté tout a été prévu pour que les compagnies ne se trouvent pas obligées à des frais onéreux d'installation et d'entretien. Par suite de leur faible épaisseur, les chaufferettes peuvent être placées directement sur le plancher sans que leur surface supérieure dépasse celle des languettes de bois qui, d'ordinaire, sont clouées sur le parquet ; elles peuvent donc rester en place été comme hiver ; si l'on veut les enlever pendant la saison chaude il suffit de les remplacer par une planche d'épaisseur égale. Les résistances métallocéramiques peuvent supporter sans inconvénients aussi bien les trépidations des voitures que les surélévations accidentelles du voltage. Les prises de courant sont disposées de manière à être toujours dans un état de siccité ne faisant craindre aucun court-circuit pendant les temps de pluie, de neige ou pendant le lavage à grande eau des intérieurs des voitures. Enfin, les frais d'installation et de service sont très faibles comparativement à ceux des autres systèmes de chauffage ([2]) ; la dépense d'installation n'est en effet que de

([1]) *L'Éclairage Électrique*, t. XVII, p. 138, 28 janvier 1899.

([2]) Il résulte en effet des réponses faites à l'une des questions discutées cette semaine au Congrès international des Tramways, que la plupart des compagnies de tramways reculent devant les dépenses ou les inconvénients qu'entraînent les systèmes actuels de chauffage des voitures de tramways ou chemins de fer économiques. Les systèmes à air chaud, à la vapeur ou à l'eau chaude exigent des installations coûteuses et d'un entretien très onéreux ; le

150 fr par voiture de 16 places d'intérieur (16 appareils à 7 fr = 112 fr; fourniture et pose des fils de dérivation environ 38 fr), et quant à la dépense de chauffage elle serait, en comptant le kilowatt-heure au prix moyen de 10 centimes, de $16 \times 20 \times 15 \times 0{,}0001 = 0{,}48$ fr par jour pour une voiture contenant 16 chaufferettes consommant 20 watts et en fonctionnement 15 heures [1].

J. Reyval.

CONGRÈS INTERNATIONAL DES TRAMWAYS [2]

V. — SYSTÈMES DE DISTRIBUTION DU COURANT, par M. Van Vloten

La question posée était la suivante : « Quel est pour les grands réseaux de tramways comprenant des lignes suburbaines, susceptibles d'extensions à longue distance, le meilleur système de distribution de courant : continu, alternatif, polyphasé, etc. ? » Le rapporteur conclut qu'il n'est pas possible, étant donnée la forme générale sous laquelle la question a été posée, de formuler des conclusions précises [3] ; il est cependnnt d'avis qu'on peut déduire ce qui suit de l'étude détaillée des avantages et des inconvénients de chaque mode de distribution, en supposant une station centrale unique dans chaque cas :

« 1° Lorsque la ligne ne s'étend pas à plus de 8 à 10 km de l'usine et que le service n'est pas trop intense, la préférence peut être accordée en général à la distribution ordinaire, par courants continus avec ou sans batteries-tampons ;

» 2° Lorsque la ligne s'étend dans ces mêmes conditions à 15 ou 16 km de l'usine, la distribution par courant continu avec centrale unique, survolteurs et éventuellement sous-volteurs, et batteries-tampons continue à présenter des avantages ;

» 3° Dans certains cas tout à fait spéciaux, la préférence doit cependant être accordée à la traction par accumulateurs lorsque la longueur de la ligne ne dépasse pas 15 à 20 km ;

» 4° La distribution à courant continu, dite en série, peut être appliquée à des lignes plus

---

chauffage électrique au moyen de résistances placées le long des parois verticales des banquettes, outre l'inconvénient qu'il présente de chauffer surtout les mollets des voyageurs, coûte beaucoup trop cher (2 fr par voiture et pour 16 heures de service sur les tramways de Hanovre, 1,44 fr par voiture pour le même service sur les voitures de la Société nationale des chemins vicinaux belges, en comptant l'énergie électrique à 6 centimes seulement le kilowatt-heure dans ce dernier cas); le chauffage par chaufferettes à briquettes employé dans les omnibus et tramways de Paris revient à environ 1 fr par jour, d'après une remarque de M. Mommerqué (sur les Tramways nogentais la dépense atteint 0,78 fr par voiture et par jour d'après les renseignements qui nous ont été donnés).

(1) Ce prix s'abaisserait à $16 \times 20 \times 15 \times 0{,}00006 = 0{,}288$ fr en comptant l'énergie électrique à 0,06 fr le kilowatt-heure, prix auquel la produisent certaines usines de tration, en particulier celles des chemins de fer vicinaux belges. Avec l'énergie électrique à 0,025 fr le kilowatt-heure, prix auquel on arrive dans la puissante usine génératrice à vapeur de 70,000 chevaux des tramways de New-York, la dépense du chauffage s'abaisserait au prix insignifiant de 0,12 fr par jour pour une voiture de 16 places.

(2) Voir le précédent numéro, p. 407.

(3) Le plus ou moins de longueur des extensions urbaines à prévoir, l'intensité du service, le profil des lignes, la position de l'usine, les règlements édictés par les autorités, la présence ou l'absence de forces motrices naturelles, le coût de la main-d'œuvre, etc., influent sur la solution à adopter. On doit autant que possible faire usage d'une grande usine génératrice unique, capable d'alimenter tout le réseau, ce qui procure les avantages suivants : réserve plus petite, grandes unités, personnel réduit, surveillance facile. Pour pouvoir conclure d'une façon précise en ce qui concerne la distribution, il faudrait examiner successivement un certain nombre de cas comportant des extensions et des services progressivement croissants, ensuite discuter la distribution à adopter en ayant égard, chaque fois, au coût de premier établissement, au coût d'exploitation, à la sécurité du service, à l'aspect extérieur des lignes, aux chances de perturbations, etc., enfin, tirer de ces exemples convenablement choisis les conclusions qu'ils comportent.

***

longues encore, surtout lorsqu'on se trouve dans le cas de pouvoir utiliser une chute d'eau éloignée, mais cette distribution offre cependant toujours, au point de vue de la traction, le défaut inhérent aux systèmes en série (risques de perturbations pouvant affecter l'ensemble de l'exploitation) ; enfin, elle n'est pas à conseiller lorsque l'intensité du service est très variable ;

» 5° Pour ces raisons, la distribution par courants polyphasés avec stations de convertisseurs à courant continu alimentant les lignes de travail, distribution qui présente les mêmes avantages au point de vue de l'utilisation des chutes d'eau, convient mieux principalement lorsque le service est intense et variable, les trains lourds et la ligne étendue (20 à 30 km) ;

» 6° Enfin, la distribution directe par courants polyphasés avec moteurs à champ tournant sur les voitures ne semble bien s'adapter dans ces mêmes conditions de trafic, de longueur de ligne, etc. qu'aux chemins de fer proprement dits, indépendants des exploitations de tramways urbains et construits sur plate-forme spéciale (1). »

---

(1) Voici les avantages et les inconvénients des différents systèmes de distribution mis en avant par le rapporteur :

a) *Distribution ordinaire à 550 ou 600 volts avec feeders et conducteurs de retour ; station centrale unique.* — Usine de force unique, par conséquent, surveillance facile, main-d'œuvre peu coûteuse, réserve peu importante, grandes unités, prix de revient du kilowatt-heure utile peu élevé, sécurité dans le service, aspect satisfaisant des lignes (surtout avec feeders souterrains), moteurs à courant continu bien adaptés aux exigences de la traction, absence de dangers pour la vie humaine. Par contre on peut reprocher à ce système les inconvénients suivants : coût de la canalisation augmentant rapidement avec la distance ; pertes de charge importantes, dangers d'électrolyse et de perturbations (à moins de sacrifices importants), forts amortissements sur la distribution.

b) *Même distribution avec sous-stations d'accumulateurs.* — Les défauts du système précédent sont diminués dans une certaine mesure par l'emploi judicieux de batteries tampons placées sur les lignes longues : la distribution peut être calculée, en partie au moins, en prenant pour base la puissance moyenne nécessaire et non la puissance maxima ; les rails peuvent être déchargés d'une partie du courant de retour ; les batteries améliorent le rendement des unités génératrices et permettent aussi, le cas échéant, d'alimenter un réseau d'éclairage séparé.

c) *Même distribution, mais avec plusieurs usines.* — Si l'emplacement des usines est bien choisi, ce système permet théoriquement d'augmenter la longueur de distribution proportionnellement au nombre d'usines ; de réduire notablement les feeders, de diminuer les pertes de charge, les dangers d'électrolyse et de perturbations, et allège l'amortissement sur la distribution. Par contre, la multiplicité des centres de production entraîne les inconvénients suivants : coût plus élevé des installations de force motrice, surveillance moins facile, main-d'œuvre plus coûteuse, réserve plus importante, prix du kilowatt-heure utile plus élevé, amortissement plus important sur les installations de l'usine. L'emploi de batteries-tampons atténue dans une certaine mesure les inconvénients de ce système qui ne serait applicable rationnellement que dans le cas où il existerait une ou plusieurs chutes d'eau utilisables le long de la ligne et très peu distantes de celle-ci.

d) *Même distribution qu'en* (a), *mais avec survolteurs et sous-volteurs à l'usine.* — Les survolteurs et sous-volteurs servent à compenser dans une certaine mesure les pertes dans les feeders. Par conséquent, ce système permet, tout en conservant les avantages d'une usine unique, d'alimenter des lignes plus longues avec un poids de cuivre réduit, de conserver aux lignes un bon aspect, d'éviter les dangers d'électrolyse et de perturbations ; l'emploi des survolteurs permet d'étendre la zone d'action d'une usine existante, sans changement aux unités, avantage précieux dans certains cas ; ce système peut se combiner avec l'emploi de batteries-tampons sur les lignes. Par contre, le prix de revient du kilowatt-heure utile est plus élevé qu'avec le premier système, par suite du survoltage et du sous-voltage, et l'usine est plus compliquée. « Dans la plupart des cas, à moins d'avoir à faire à des lignes suburbaires très longues ou très chargées, ce système présentera souvent autant d'avantages que la distribution à courants polyphasés avec sous-stations à convertisseurs. »

e) *Distribution à 3 fils, les rails servant de conducteur neutre* (*550 à 600 volts par pont*). — Possibilité d'étendre notablement la portée de la distribution, poids de cuivre réduit dans la canalisation, usine unique, possibilité d'étendre la zone d'action d'une usine existante sans changements aux unités ; prix de revient du kilowatt-heure utile peu élevé ; conducteur neutre, formé par les rails, ne coûtant rien ; suppression des dangers d'électrolyse : diminution sensible des dangers de perturbation, aspect satisfaisant des lignes, possibilité de se servir des installations pour alimenter un réseau étendu d'éclairage à arc, par exemple. Malgré ces avantages, la distribution à 3 fils ne s'est pas répandue à cause de ses inconvénients : difficulté souvent insurmontable d'équilibrer les charges sur les ponts, difficultés de construction des croisements, aiguillages, etc., en raison de la polarité différente des fils de travail ; complication plus grande à l'usine.

f) *Dynamos à courant continu à haute tension avec stations secondaires réduisant le voltage à 550 ou 600 volts.* — Ce système présente les avantages de la transmission à haute tension, mais les inconvénients suivants lui font préférer les systèmes (*o*) : les dynamos et réceptrices à courant continu sont mal adaptées aux très hautes tensions ; leur isolement est difficile à maintenir et les avaries à craindre ; leur rendement est un peu infé-

VI. — LE JOINT FALK, par M. Fischer-Dick.

Ce rapport présente un intérêt d'autant plus grand que M. Fischer-Dick, qui a eu, à Berlin, l'opportunité de mettre le joint Falk en pratique, avait, depuis de longues années déjà, imaginé

---

rieur à celui des alternateurs et des moteurs synchrones ; les lignes sont coûteuses à établir ; l'isolement des câbles est plus difficile à maintenir, à tension égale, avec le courant continu, qu'avec le courant alternatif.

g) *Distribution en série, système Thury.* — Possibilité de transmission économique à très longues distances, par suite des hautes tensions réalisables qui peuvent atteindre 25 000 et 40 000 volts ; poids de cuivre très réduit dans les lignes ; faculté d'insérer dans un même circuit plusieurs forces motrices naturelles distinctes et éloignées, de même que plusieurs stations réceptrices également éloignées pouvant servir pour des applications à la traction électrique, à l'éclairage ou à la distribution de l'énergie ; possibilité de réduire comme on le désire les pertes de charge dans les retours en multipliant les centres secondaires ; fonctionnement des réceptrices indépendant des pertes dans le circuit et de l'endroit où elles sont intercalées. Ce système offre l'inconvénient grave de toutes les distributions en série, à savoir qu'une avarie expose la distribution à des perturbations générales ; perte en ligne constante quelle que soit la valeur de la charge ; prix de revient du kilowatt-heure utile assez élevé lorsque la charge est petite ou variable.

h) *Traction par accumulateurs.* — Ne convient qu'aux lignes dont le profil est peu accidenté ; ses avantages sont les suivants : grande économie d'installation sur les lignes longues et à faible trafic, par suite de la suppression des conducteurs, poteaux, etc. ; réduction de la puissance des unités motrices ; absence complète de dangers d'électrolyse et de perturbations ; indépendance des voitures ; augmentation de l'adhérence ; absence de dangers pour les agents et pour le public ; faculter d'emprunter n'importe quelle voie pour les parcours urbains. Ses inconvénients : poids plus considérable des voitures, d'où résulte une dépense inutile d'énergie et une fatigue plus grande des voies ; sécurité de l'exploitation d'autant moindre que le nombre des voitures est plus considérable ; dangers de détériorations des voitures et des trucks par l'acide ; émanations désagréables pour les voyageurs ; entretien et surveillance difficiles ; prix de revient élevé du kilowatt-heure utile aux bornes des moteurs des voitures ; parcours limité par la capacité des batteries à moins d'employer plusieurs stations de charge (distance maximum possible, 15 à 20 km).

i) *Système mixte.* — Permet d'exploiter des lignes dont la longueur dépasse 15 à 20 km. Les accumulateurs sont moins bien surveillés et plus sujets à se détériorer que dans le système précédent, parcequ'ils restent dans la voiture pour la charge et que celle-ci ne peut être aussi bien contrôlée.

k) *Distribution directe par courants monophasés.* — Ne peut convenir à la traction parce que les moteurs asynchrones monophasés ne démarrent pas sous charge, qu'ils exigent des poids de cuivre relativement élevés pour les conducteurs, et que le rendement des alternateurs et transformateurs est moindre.

l) *Distribution directe par courants biphasés.* — Les moteurs biphasés, nécessitant l'emploi de 4 conducteurs pour la transmission, ne sont pas pratiques.

m) *Distribution directe par courants triphasés.* — Les moteurs à courants triphasés possèdent les propriétés suivantes : production d'un grand effort de traction au démarrage ; rendement élevé sous les fortes charges ; vitesse constante quelle que soit la charge (par conséquent, sur une voie à profil accidenté, le moteur triphasé doit être, toutes autres choses égales, plus fort et plus lourd que le moteur à courant continu) ; faculté de restituer une partie de l'énergie dépensée dans les pentes, pour le freinage ou la récupération ; difficultés de réglage de la vitesse ; nécessité d'un entrefer très faible, d'où résulte la nécessité d'une faible usure des coussinets qui doivent avoir une plus grande portée que dans les moteurs à courant continu, ce qui augmente l'encombrement. Il résulte de ces propriétés que le moteur triphasé est moins bien adapté pour la traction que le moteur à courant continu, à moins d'avoir à faire à des lignes à profit très constant, comme les voies de chemins de fer, par exemple. Le moteur triphasé, par contre, n'a pas de collecteur, est très simple de construction, et peut être alimenté à haute tension (1000 à 4000 volts).

Ceci posé, le système envisagé donne lieu aux observations suivantes, étant entendu que ses avantages disparaissent si l'on n'emploie pas les tensions élevées :

Incénvénients. — Difficulté d'isolement des lignes de travail ; nécessité de deux conducteurs aériens à potentiel différent, d'où résultent les complications de croisements, d'aiguillages, etc., et le mauvais aspect esthétique de la ligne ; nécessité de limiter la perte de charge parce que l'effort de traction du moteur polyphasé varie comme le carré de la tension ; la self-induction qui se produit dans les rails employés comme troisième conducteur, principalement lors des fortes demandes de courant, tend à produire des perturbations nuisibles au bon fonctionnement du service ; perturbations télégraphiques et téléphoniques très graves, qui devraient faire proscrire ce système de l'intérieur des villes ; dangers pour les agents et le public ; moteurs moins bien adaptés à la traction que les moteurs à courants continus ; enfin, si une ligne suburbaine à courant triphasé se raccorde à un réseau urbain à courant continu, il faut recourir à l'emploi de deux types de moteurs et d'appareillage.

Avantages. — Transmission économique, surtout sur les longues lignes ; absence de phénomènes d'électrolyse (ce qui a peu d'importance, le système n'étant pas applicable à l'intérieur des villes) ; possibilité d'utiliser une chute

différents types de joints (joints biais, joints mortaisés, avec semelle, etc.), qui avaient donné de bons résultats, et étaient fréquemment employés en Allemagne ; sa conclusion en faveur du joint

---

d'eau éloignée ou de placer l'usine génératrice là où existe le meilleur emplacement pour le combustible et l'eau ; usine centrale unique et avantages correspondants.

n). *Même distribution avec transformateurs.* — Permet de transmettre à plus haute tension dans les lignes de distribution, d'où une économie importante, et de distribuer dans les lignes de travail à un potentiel réduit, ce qui facilite l'installation de ces lignes et diminue les dangers d'électrocution ; le rendement est diminué par la transformation.

o) *Transmission par courants triphasés avec transformateurs en courant continu.* — Ce système peut être réalisé par l'un des procédés suivants :

α) Alternateurs et réceptrices synchrones à haute tension et génératrices à courant continu dans les sous-stations ;

β) Alternateurs à bas voltage avec transformateurs amplificateurs à l'usine, avec transformateurs réducteurs, moteurs asynchrones et génératrices à courants continus dans les sous-stations ;

γ) Alternateurs à haute tension à l'usine, transformateurs réducteurs, moteurs asynchrones et génératrices à courant continu aux sous-stations ;

δ) Alternateurs à basse tension et transformateurs amplificateurs à l'usine, transformateurs réducteurs et convertisseurs rotatifs aux sous-stations ;

ε) Alternateurs à haute tension à l'usine, transformateurs réducteurs et convertisseurs rotatifs aux sous-stations.

Tous ces systèmes offrent les avantages suivants : possibilité d'employer les moteurs à courant continu pour les voitures et l'appareillage ordinaire pour les lignes de travail d'où résultent un aspect satisfaisant des lignes, la suppression des causes de dérangement signalées, tant dans le service que dans les transmissions téléphoniques et télégraphiques ; l'absence de dangers pour les agents et pour le public ; la possibilité de faire usage de batteries-tampons ; prix peu élevé de la distribution primaire à haute tension ; usine centrale unique ; possibilité d'utiliser une chute d'eau éloignée ou de choisir l'emplacement de l'usine eu égard aux approvisionnements d'eau et de charbon ; adaptation excellente aux lignes suburbaines de pénétration et aux lignes raccordées à un réseau urbain en permettant l'adoption d'un type unique de moteur et d'appareillage.

Leurs inconvénients sont les suivants : rendement (qui varie d'un système à l'autre) moindre que celui de la transmission directe par courant triphasé, à cause de la transformation du courant triphasé en courant continu ; poids de cuivre des conducteurs alimentant les lignes de travail plus considérable à cause de la tension relativement faible employée ; les stations de transformateurs avec génératrices à courant continu, de même que les convertisseurs rotatifs exigent un personnel surveillant qui augmente le prix de revient du kilowatt-heure utile aux bornes des voitures et rend le contrôle moins facile : la somme des unités en fonctionnement dans les diverses sous-stations représente, réserve comprise, une puissance très sensiblement supérieure à celle des unités en fonctionnement à l'usine, parce qu'on doit tenir compte des à-coups qui peuvent se produire dans une exploitation de cette espèce. Pour toutes ces raisons le coût de premier établissement et les frais d'exploitation se trouvent augmentés.

Nous complétons ce résumé du très remarquable rapport de M. Van Vloten par l'extrait suivant de la réponse fournie par la *Compagnie générale française de tramways*, qui indique très clairement les considérations qui ont fait adopter à cette Compagnie le système (ε) pour l'alimentation de son réseau de tramways de Marseille.

Il y a lieu, avant tout, de considérer l'obligation imposée aux sociétés de tramways électriques avec retour de courant par les rails, de ne pas avoir à dépasser une perte de voltage de plus de 5 volts dans les rails et même de 1 volt en certains endroits à proximité des points d'atterrissement des câbles sous-marins, afin d'éviter les dangers d'électrolyse des canalisations d'eau et de gaz et de ne pas influencer les courants des câbles sous-marins, qui sont à un très bas voltage et dont les signes télégraphiques conventionnels sont facilement dénaturés. Il est donc de toute nécessité d'adopter une disposition présentant toute sécurité à cet égard.

Il faut en outre tenir compte de ce que, dans un grand réseau de tramways comme celui de Marseille, il y a et il y aura encore davantage, avec la traction électrique, une grande variabilité de la charge sur les divers points du réseau et aussi à certains jours et qu'il est nécessaire de réserver dans les dispositions adoptées une grande élasticité pour les extensions futures du réseau.

Or, avec l'alimentation directe par courant continu à 550 volts, il n'est possible de rester dans les limites de perte de voltage tolérées, que moyennant des câbles de retour de section rigoureusement calculée et adaptée au courant devant circuler dans chacun des câbles. Il en résulte que le retour du courant ne peut s'effectuer suivant les prévisions du constructeur qu'en tant que la répartition des courants sur les diverses parties du réseau reste strictement telle qu'elle a été prévue au projet.

Il nous était tout à fait impossible, quant à présent, de prévoir exactement ce que sera le trafic sur le réseau de Marseille transformé et à plus forte raison, ce que sera celui sur le nouveau réseau. (Nous en avons eu la preuve dans certains réseaux transformés à l'électricité avec courant continu où, au bout de quelques années il a fallu, par suite du prolongement d'une ligne, faire des dépenses énormes de 3 à 400 000 fr pour augmenter le nombre des feeders de retour et améliorer le retour du courant de tout le réseau en appliquant le joint fondu Falk.)

Dans les conditions de notre réseau de Marseille, les sections de câbles telles qu'elles avaient été adoptées pour

Falk peut donc être considérée comme basée sur une longue expérience et ne peut être entachée de partialité.

---

le courant continu, risquaient fort d'être, soit insuffisantes, soit mal réparties et tout le système de retour du courant dans ce cas aurait été profondément modifié et par conséquent n'aurait plus donné la sécurité exigée par l'Administration des Postes et Télégraphes, au point de vue de la différence de potentiel.

En outre, la construction de chaque nouvelle ligne s'ajoutant au réseau actuel et arrivant même à des longueurs de ligne de 15 à 20 km, aurait modifié également, chaque fois, la répartition des courants de retour et si l'on avait voulu se prémunir contre tous ces impedimenta, il aurait fallu prévoir des câbles d'une section excessive, ce qui aurait encore augmenté le prix déjà très élevé du système, sans avoir la certitude que la section aurait été suffisante dans l'avenir, surtout pour certaines lignes.

Dans ces conditions, le système de distribution directe par courant continu à 550 volts ne se prêtait nullement à l'élasticité dans la distribution et dans le retour du courant, élasticité absolument indispensable dans le cas de notre réseau de Marseille, tant au point de vue de la grande variabilité du trafic, que pour ce qui concerne les extensions futures ; nous y avons donc renoncé.

Le système triphasé se prête admirablement à une distribution de force dans le cas de Marseille, car il permet en premier lieu de produire l'énergie en une seule grande usine génératrice, ce qui permettra un abaissement notable du prix de revient de l'énergie.

Au point de vue du retour du courant, le système triphasé est le meilleur qui existe, car il permet de sectionner l'ensemble du réseau en plusieurs petits réseaux dépendant chacun d'une sous-station, ce qui réduit les courants de retour à une faible valeur facilement maniable et beaucoup moins dangereuse, en diminuant aussi la longueur du parcours et par conséquent permet de rester facilement et sûrement dans les limites de pertes de potentiel admises par l'Administration des Postes et Télégraphes.

Quant au point si important de la variabilité du trafic sur les diverses parties du réseau actuel et les extensions futures, le système par courants triphasés présente toute l'élasticité voulue, car il suffira, au moment donné et suivant le cas d'augmentation du trafic ou de prolongements de lignes de 15 à 25 km, d'augmenter la puissance de la sous-station ou des sous-stations intéressées, ou de construire une ou plusieurs nouvelles sous-stations.

Enfin avec la tension de 5 500 volts, il sera possible d'alimenter, économiquement et sans difficultés, des lignes de 20 à 25 km de longueur, si le besoin s'en faisait sentir.

Nous considérons donc ce système comme le seul pratiquement applicable dans le cas qui nous occupe, étant donné qu'il réunit tous les avantages au point de vue de l'économie d'installation et d'exploitation, qu'il permet d'éviter les dangers très graves d'électrolyse et qu'il assure, pour le développement futur du réseau, toute l'élasticité désirable, tout en donnant toutes les garanties voulues au point de vue de son application pratique, étant données aussi les nombreuses installations existantes à l'heure actuelle et dont une partie n'existait pas encore lorsque nous avons étudié l'application de ce système au début de l'année 1898.

Enfin les convertisseurs rotatifs, suivant une déclaration de M. Steinmetz, ingénieur en chef de la General Electric Company, de New-York, peuvent être couplés en parallèle aussi bien que des dynamos à courants continus ordinaires ; il en est de même aujourd'hui de la facilité de la mise en parallèle des générateurs triphasés qui est absolument nécessaire dans les grandes usines à production de courant à haute tension, car elle permet d'obtenir une répartition plus régulière de la charge ; la surveillance peut être moindre, la capacité de la station génératrice est mieux utilisée en faisant travailler toutes les unités à leur pleine charge, ou à peu près, et le fonctionnement de toute l'usine peut être plus économique, grâce à la facilité de mettre en circuit ou de découpler les différentes unités suivant les demandes du service de l'exploitation.

Pour terminer cette question, nous donnerons ci-après les rendements obtenus en Amérique avec les divers systèmes de transmission de courants, les moteurs travaillant en pleine charge.

Le rendement des diverses machines électriques étant le suivant :

Générateur triphasé à bas voltage de grande puissance	95,5 p. 100
» » à haut voltage	95 »
Transformateur élévateur de tension de grande puissance	97,5 »
Générateurs à courants continus à haut potentiel	92 »
Moteurs à courants continus à haut potentiel	90 »
Transformateurs abaissant la tension	97 »
Moteurs synchrones à basse tension	95 »
» » à haute tension	94 »
Générateurs à courants continus à 125 volts	92 »
Convertisseurs rotatifs	93,5 »

et en supposant une perte de 10 p. 100 dans la ligne, on obtient le rendement définitif suivant, pour les divers systèmes de transmission :

Transmission par courants continus. Rendement total	69,3 p. 100
Système (α)	71 »
Système (β)	72,6 »

Après avoir exposé le développement des applications du joint Falk [1], les considérations techniques et financières qui ont amené les compagnies à l'adopter [2] le prix de revient de ce système d'éclissage [3], le matériel nécessaire à son exécution [4], le rapporteur examine les dan-

---

Système (γ)	74,9 p. 100.
Système (δ)	76,2 »
Système (ε)	77,7 »

Ces différents chiffres ne sont évidemment qu'approximatifs, mais ils donnent toutefois une idée suffisante des rendements composés des différents systèmes en présence. Ils montrent donc que c'est le système ε (celui à courants triphasés à haute tension avec transformateurs statiques pour abaisser la tension et convertisseurs rotatifs pour les redresser en courant continu) qui donne le meilleur rendement, et c'est pour toutes les raisons exposées ci-dessus, ainsi que pour cette question de rendement, que nous l'avons adopté pour notre réseau des tramways de Marseille, et que nous estimons que, dans le cas prévu par la cinquième question, il doit être adopté.

(1) Ce joint a été appliqué pour la première fois à Milwaukee, en 1894; il est appliqué aujourd'hui, aux Etats-Unis, à Chicago, St-Paul-Minneapolis, Memphis, etc. Rien qu'à Chicago, 40000 joints ont été placés sur 161 km de voies. Nombre d'autres Compagnies sont décidées à remplacer l'éclissage par le joint coulé « qui est devenu d'une application à peu près générale; ce n'est plus qu'exceptionnellement qu'on construit encore des voies avec joints ordinaires et l'on peut dire que la soudure électrique des rails est en ce moment, le seul système qui fasse concurrence au brevet Falk ». Des Etats-Unis le joint Falk passa en France, où il fut appliqué pour la première fois, en 1896, à Lyon, puis à Marseille, au Havre, à Paris, à Rouen, à Nice. Il fut introduit en Allemagne par M. Fischer-Dick à la suite d'un voyage qu'il fit à Lyon, en 1897; la grande Société des tramways de Berlin fit couler près de 8000 joints sur 40 km de voies.

(2) Les joints ont toujours été les parties faibles des voies; l'usure rapide des rails en ces points forçait souvent à remplacer les voies avant que leur état aux autres points ait justifié une semblable mesure. En adoptant le joint Falk, les Compagnies ont eu comme objectif de prolonger la durée de la voie et de réduire les frais d'entretien.

(3) Le profil du rail, en faisant varier le poids de fonte nécessaire pour chaque joint, détermine le prix de revient. Voici quelques-uns des chiffres cités :

Le Havre :

Fournitures diverses pour éclairage (huile, pétrole essence)	0,09
Graisse de la turbine Laval	0,02
Briquettes pour la chaudière	0,03
Bois pour allumage du cabillot de la chaudière	0,03
Fonte spéciale en gueuses	7,04
Coke métallurgique	0,35
Matériaux réfractaires, huile de lin, plombagine	0,12
Sable pour cubilot et pavages	0,31
Cales et goujons	0,12
Achats divers	0,03
A reporter	8,14
Report	8,14
Fournitures pour réfection des connexions	0,81
Fournitures pour entretien du matériel	0,16
Transport du cubillot pour coulage	0,36
Transport du matériel, des matériaux, des déchets	0,44
Main-d'œuvre pour entretien du matériel	0,19
Main-d'œuvre pour dépavage, fouille, pose des moules, coulage des joints, réfection des connexions, repavage, transport du matériel, etc.	6,20
Redevance au Syndicat ampère	4,00
Total par joint	20,30

A *Lyon*, chaque joint est revenu à 20,10 fr, à *Marseille*, 16,50 fr. La *Compagnie française Thomson-Houston* le paie 19,89, droit de licence non compris. La *Train rapid Transit Company*, aux Etats-Unis, déclare un prix de deux dollars (10 fr) par joint, non compris les frais de pavage et la redevance du brevet, pour des rails de 30 kg : m. Les *Tramways de Berlin* ont payé au concessionnaire des brevets Falk 25 fr par joint, non compris les frais de pavage et payent maintenant 31,25 fr. Cette dernière Compagnie ajoute les renseignements suivants : « Ce n'est que dans l'application du système à des voies existantes que l'augmentation des dépenses est réellement considérable, parce que, dans ce cas, il faut enlever et rétablir à chaque joint le pavage et l'infra-structure. Lorsqu'il s'agit de la construction de voies neuves, les systèmes coûteux d'éclissage à mi-joints et autres, l'établissement des connexions électriques, etc., etc., qui deviennent inutiles ne reviennent pas sensiblement moins cher que le système Falk.

» Les dépenses de terrassement et de pavage varient suivant le système de pavage employé et ne doivent être pris en considération que lorsqu'il s'agit d'appliquer le système à des voies existantes. Ces frais sont de 12 à 15 marks (15 fr à 18,75 fr) par joint.

» Les frais de décapage des abouts, les frais de main-d'œuvre de coulée, les frais de matière première, y compris les droits de brevet se montent à 20 marks (25 fr) par joint.

» La matière première est de la fonte tenace de toute première qualité; on emploie 2/3 de fonte et 1/3 de déchets de fonte cassée. La dépense pour 50 joints, étant donné que chaque joint pèse environ 75 kg, est d'environ 400 marks (500 fr). »

(4) D'après la *Compagnie Française de tramways*, il faut 50 moules, 50 serre-moules, 50 dogs, 50 serre-dogs,

gers assez faibles de fissures de rails et de cassures de joints ([1]), puis les qualités de conductibilité électrique du joint ([2]), de la durée et de la stabilité des voies ainsi préparées ([3]) et conclut : « Le

50 canaux de coulée, 50 supports pour coulées, 2 tourne-à-gauche, les burins, bédanes, marteaux, brosses métalliques, tranches, battes à bourrer, etc., sans parler du cubilot et de l'outillage des terrassiers paveurs, coffres à outils, tonneau d'eau, etc. On peut évaluer à 3 500 fr la dépense d'outillage nécessaire pour faire 50 joints par jour; le cubilot coûte 12 500 fr. Le nombre de joints qu'on peut faire dans une nuit avec un matériel donné dépend de la longueur des bouts de rails : à *Chicago*, on a fabriqué par nuit 150 joints pour rails de 4,50 m, 90 joints pour rails de 7 m et 85 pour rails de 9 m ; le matériel et le personnel étaient les suivants : 1 cubilot, 2 voitures de travaux, 6 chevaux, 35 ouvriers, chauffeurs, gardes, surveillant. L'enlèvement des pavés, le décapage, la coulée, la réfection du pavage ont exigé un jour et demi de travail. D'après la *Citizen Railway Company* le cubilot contient le métal nécessaire pour 100 joints de 70 kg ou 120 joints de 65 kg, soit environ 7 à 8 tonnes.

([1]) Il y aurait lieu de distinguer les *fissures*, qui se produisent dans les rails mêmes, les *cassures*, qui se produisent dans les blocs de fonte formant les joints. Cette distinction n'a pas été faite. L'ensemble des ruptures est toujours une très faible proportion du nombre de joints faits :

Milwaukee	1,00 p. 100	
Chicago	0,25 —	
Saint-Paul-Minneapolis	0,00 —	dans l'asphalte.
—	5,00 —	dans le macadame et le pavage.
Memphis	0,50 —	
Lyon	0,50 —	
Le Havre	0,10 —	
Marseille	0,40 —	
Paris	0,08 —	

A Saint-Paul-Minneapolis, on place un éclissage ordinaire tous les 300 m. environ. A Berlin, tous les joints sont soudés. La *Compagnie Française de tramways* a soudé les rails à gorge sur toute la longueur de la ligne ; sur les rails Vignole elle ménage, sur chaque file de rails, un joint ordinaire tous les 250 m environ, pour faciliter les effets de la dilatation et de la contraction.

Il y a lieu de remarquer la bonne tenue des rails continus posés sur voies asphaltées; aucune rupture ne s'est produite sur les lignes de Saint-Paul-Minneapolis; Bertin signale qu'on n'a constaté, dans les rues asphaltées, qu'un seul cas de rupture de bloc causé par le froid, tandis que tous les autres joints posés dans l'asphalte se sont parfaitement maintenus.

La cassure des joints doit être attribuée au peu de soin que l'on met dans le décapage des bouts de rails. Les fissures proviendraient de la contraction qu'éprouvent les files de rails, contraction qui s'accentue encore sensiblement pendant les froids d'hiver ; ce raccourcissement a atteint, à Berlin, de 35 à 50 mm. par 100 m. Les fissures se produisent généralement peu de temps après la coulée et les gelées en occasionnent ensuite de nouvelles. Le raccourcissement des files de rails après l'application du joint est un phénomène particulièrement intéressant, dont l'explication n'a pas encore été trouvée ; il explique le fait que, par les grandes chaleurs, et en plein soleil, on n'a pas encore constaté une dilatation des voies munies du joint coulé. Lorsqu'on construit de nouvelles lignes, on peut réduire dans une certaine mesure cette contraction des rails, mais c'est impossible quand il s'agit de l'application du joint coulé à de vieilles voies existantes. Le rapporteur a remarqué qu'à l'endroit des cassures une nouvelle contraction se produit avec les changements de température ; il ne conseille donc pas d'employer, dans ce cas, des éclisses ordinaires. A Berlin, les morceaux de rails intercalés aux endroits rompus et assemblés au moyen d'éclisses ont dû être remplacés peu de temps après par des pièces plus longues, parce que les files de rails s'étaient encore contractées davantage.

([2]) La conductibilité des voies munies du joint Falk est à peu près sensiblement égale à celle des rails continus. On peut donc supprimer les connexions électriques; seules quelques Compagnies les ont maintenues, par mesure de prudence (Le Havre, Marseille, Rouen). Les essais faits à Marseille ont montré que la conductibilité des joints variait suivant que la jonction des blocs coulés avec les abouts des rails était plus ou moins intime. Le décapage des abouts avant la coulée doit donc être fait avec les plus grand soins, car c'est de lui que dépendent à la fois la solidité mécanique du joint et sa conductibilité électrique.

([3]) L'application du point Falk a permis, comme nous l'avons dit, de conserver pendant de longues années de vieilles voies qu'on aurait dû remplacer à cause du mauvais état de leurs joints. Tout fait prévoir que les voies établies dès l'origine avec joints Falk auront une durée incomparablement plus longue que celle des voies ordinaires. Le joint Falk supprime le bruit au passage des voitures; cependant, ce résultat n'est pas atteint si les bouts de rails étaient déjà trop usés avant l'application du joint coulé; c'est ce qui est arrivé à Berlin, notamment, où l'on a dû, à cause du bruit, remplacer certaines voies au bout de deux ans d'usage. La stabilité des voies établies avec joints coulés est plus grande que celle des voies établies avec les anciens systèmes de joints; la traction y est donc plus douce. L'entretien des voies avec joints coulés est aussi moins coûteux. La coulée n'échauffe pas la tête du rail au point de modifier la nature de l'acier et de le rendre plus tendre, comme le fait la soudure.

Un désavantage du joint Falk provient de ce qu'on ne peut se borner à couler un petit nombre de joints à la

joint Falk a délivré en grande partie l'ingénieur de tramways des préoccupations que lui occasionnait, au point de vue du maintien en bon état des voies, l'effet destructeur des fortes pressions exercées par les roues motrices ; grâce à cet excellent système, nous sommes en mesure de construire une voie durable et capable de résister aux charges les plus considérables.

Au point de vue de l'entretien de la voie, l'application du joint Falk a une importance financière considérable, parce que, même les meilleurs systèmes d'éclissage présentent déjà au bout de quelques années, une usure aux joints qui nécessite un renouvellement prématuré et coûteux des voies, qui, aux autres points de vue, pourraient être utilisées encore fort longtemps.

« Nous considérons que le joint coulé constitue un énorme progrès, et nous ne doutons pas que l'application de ce système ne s'étende de plus en plus. »

VII. — LA TRACTION PAR ACCUMULATEURS, par MM. Broca et Johannet

Les deux rapporteurs, l'un comme directeur de la Compagnie des tramways de Paris et du département de la Seine, l'autre comme ingénieur de la Compagnie générale de traction chargé de l'exploitation des lignes de Paris à Saint-Denis, ont une grande pratique de la traction par accumulateurs, qu'ils exploitent à Paris depuis 1892. La question posée était la suivante : « Quels sont les progrès qui ont été réalisés en ce qui concerne la traction par accumulateurs : *a*) au point de vue de la construction, de la capacité et de la réduction du poids des accumulateurs ; — *b*) au point de vue de la durée et du coût de l'entretien de ces appareils ; — *c*) au point de vue de leur application économique et pratique à la traction des tramways ? »

Les rapporteurs n'ont pu répondre aux questions posées ; aucun progrès n'ayant été réalisé depuis le dernier congrès des tramways tenu à Genève en 1898 [1]. Ils donnent des considérations

---

fois, une vingtaine, par exemple, parce que, dans ce cas, la quantité de fonte qui se trouve dans le cubilot ne peut pas être complètement utilisée. On a essayé dans ces derniers temps la soudure des rails par le procédé aluminothermique de Goldschmidt, qui ne présente pas cet inconvénient.

[1] A ce Congrès, M. Kruger, directeur des tramways de Hanovre, s'était en quelque sorte érigé en champion de la traction par accumulateurs, tandis que, de tous autres côtés, il ne se trouvait que des antagonistes à ce mode de traction. Voici, très brièvement résumé le mémoire présenté par M. Krüger en 1898.

Le réseau de Hanovre, exploité par système mixte, se compose des lignes suivantes :

Désignation des lignes	Longueur des sections		
	Trôlet	Accumulateurs	
Leinhausen—Grasdorf.	11,065 km	3,980 km	
Limmer—Zool. Garten.	4,190	2,500 »	parcourue 2 fois (aller et retour) sans chargement intermédiaire
Limmer—Pferdeturm	5,280	2,705 »	
Göttingerstrasse—Pferdeturm . .	3,960	2,660 »	
Ringbahn.	3,795	4,943 »	»
Niemeyerstrasse—Pferdeturm . .	2,190	1,710 »	
Buchholz—Markthalle.	3,860	2,930 »	»
List—Ricklingen	2,270	4,170 »	»
Spinnereistrasse—Zool. Garten. .	0,950	3,300 »	»
Vahrenwald—Meterstrasse. . . .	—	17,600 »	
Vahrenweld—Pferdeturm	1,140	17,820 »	
Anderten—Sehnde	9,770	—	
Sieben Trappen—Steinthor . . .	10,306	—	
Sieben Trappen—Gehrden. . . .	3,834	—	

Les batteries, formées de 202 éléments Tudor avec plaque positive Planté de 85 dm² de surface placée entre deux plaques négatives portant chacune 300 grammes de matière active, ont une capacité de 25 ampères-heure, au régime de décharge de 25 ampères. La batterie pèse, complète de 2 000 à 2 500 kg, selon l'état d'usure des plaques. Elle est placée sous les banquettes. Des soins spéciaux ont été pris pour le montage de cette batterie au point de vue de l'isolement, des projections d'acide et de la ventilation. La conservation des batteries est assurée par une surveillance et un contrôle quotidiens et un entretien minutieux des éléments que le contrôle a reconnus défectueux ainsi que par des nettoyages complets de la batterie après que celle-ci a parcouru un nombre de kilomètres variable de 8 000 à 12 000 suivant les lignes. Après chacun de ces nettoyages, la capacité de la batterie est mesurée et on

générales sur la traction par accumulateurs et cherchent « à faire passer dans l'esprit des membres du Congrès » la conviction qu'ils ont acquise, savoir : « que ce système, ingrat par lui-même, peut rendre, quand il est bien appliqué, de grands services dans bien des cas particuliers ; que, sans être partisans *a priori* de la traction par accumulateurs, il ne faut pas la condamner par principe, dans le cas où l'on désire employer la traction électrique et où l'on ne peut avoir le fil aérien ».

Ils basent cette opinion sur les raisons suivantes :

Les frais de premier établissement sont moins élevés [1] ; une fraction notable du capital dépensé se retrouve sous forme de vieux plomb ; aucune modification particulière des voies, ou même des voitures motrices n'étant nécessaire, l'adoption de ce mode de traction permet d'attendre utilement une solution par des accumulateurs autres, ou un mode de captation autre que ceux qu'on connaît actuellement ; la régularité de marche de l'usine, avec les accumulateurs, diminue les frais d'entretien du matériel de la station génératrice ; l'indépendance absolue des voitures ; pour un très faible trafic, les accumulateurs peuvent être supérieurs même au trôlet. « Il ne faut pas oublier non plus quelles seront les difficultés que rencontrera l'exploitation avec le caniveau ou le contact superficiel quand il lui faudra entretenir des voies à disposition si spéciales ou simplement quand il lui faudra improviser, sur une ligne à deux voies, un service unique, ou établir une déviation occasionnée par des travaux quelconques de viabilité ».

Cependant les rapporteurs reconnaissent que : « la traction par accumulateurs ne doit jamais être préférée à la traction par tel autre système » [2], et que, conformément à ce qu'a dit M. Kruger, quand on emploie la traction par accumulateurs, le directeur doit faire abstraction de sa tranquillité, « car alors les accumulateurs n'auraient jamais la première place, pas plus peut-être que

---

met chaque batterie en service sur celle des lignes dont le service correspond le mieux à cette capacité ; ce roulement, rendu possible par le grand nombre de lignes exploitées par accumulateurs et ayant des services différents, permet d'user les plaques jusqu'à la dernière limite. Lorsque les plaques sont complètement épuisées, la batterie est démontée ; on la garnit de plaques neuves. Les plaques positives qui peuvent encore servir sont employées à des remplacements partiels d'autres vieilles batteries et les plaques hors d'usage sont vendues à leur valeur du plomb. Les plaques négatives sont débarrassées de la vieille pâte qui s'est réduite en plomb et regarnies à nouveau ; elles sont alors complètement neuves et on les remonte dans la voiture. Le retartinage peut se renouveler jusqu'au moment où la plaque se détruit mécaniquement. Le support de ces plaques peut subir 6 retartinages, ce qui correspondrait à 240 000 kilomètres de parcours automobile.

La consommation supplémentaire d'énergie électrique entraînée par la remorque de la batterie serait de 175 watts-heures environ par kilomètre-voiture ; le kilowatt-heure revenant à 6,25 centimes environ, sans amortissement, cette dépense serait à peu près équivalente aux frais d'entretien ordinaire de la canalisation aérienne.

Les dépenses d'entretien des batteries, déduites d'une expérience de deux années (du 1er août 1896 au 1er août 1898), seraient de 2,616 centimes par voiture-kilomètre si l'on ne tient compte que du parcours automobile (4 296 442 km) et de 1,386 centime si l'on rapporte les dépenses totales au parcours total, automobile et trôlet (8 168 888 km). Encore, ces prix seraient-ils susceptibles d'être diminués en apportant au service les perfectionnements suivants :

Retartinage et formation des plaques par la Compagnie :

Confection de la liqueur acidulée par la Compagnie, modification aux appareils de distillation, de façon à rendre leur fonctionnement automatique ;

Fonte, réduction des vieilles plaques pour la fabrication des plaques de remplacement :

Lavage et séchage du peroxyde de plomb formé (20 000 kg par an) par la Compagnie elle-même, ce qui permet de le vendre à raison de 75 fr les 100 kg au lieu de 15 fr.

En résumé, M. Kruger estime que là, où dans de bonnes conditions de charge et de décharge, la durée des batteries n'a pas été suffisante, cela ne provient que du manque de soins apporté à l'entretien des batteries.

Dans la réponse au questionnaire du Congrès de 1900, la Compagnie des tramways de Hanovre dit que « dans certains cas, la situation n'a pas changé, dans certains autres elle s'est améliorée ».

(1) Les prix d'installation des divers systèmes peuvent se classer dans l'ordre suivant de croissance : accumulateurs, contact superficiel, caniveau souterrain. Au point de vue du prix d'entretien proprement dit, l'ordre sera renversé, « mais si nous ajoutons au prix d'entretien les dépenses d'amortissement et d'intérêts inhérentes à chaque système, afin d'avoir la comparaison véritable, il est certain que, dans certains cas, l'avantage restera aux accumulateurs, à condition que leur exploitation soit bien conduite ».

(2) « Mais, ajoutent-ils, quand on ne peut employer le fil aérien et qu'on est contraint et forcé par les circonstances, cette solution peut présenter certains avantages ».

....

le système tant préconisé du caniveau, ainsi que celui du contact superficiel encore peu connu ». Et ils estiment que, pour obtenir des résultats avantageux, il est nécessaire d'observer certaines règles; notamment :

1° Calculer convenablement les batteries (1);
2° Centraliser les batteries (2);
3° Fabriquer soi-même des plaques robustes (3);
4° Charger le plus lentement possible ses batteries (4);
5° Etudier convenablement le logement des batteries dans les voitures (5);
6° Disposer convenablement les terminus et les dépôts (6).

VIII. — SUR LE CHAUFFAGE DES VOITURES, par M. C. de Burlet.

Cette question a été déjà examinée par l'Union internationale permanente à l'Assemblée générale de Cologne, en 1894; elle est aussi à l'ordre du jour du Congrès des chemins de fer en 1900 où elle fait l'objet d'un très remarquable rapport de M. Rigoni.

De l'ensemble des documents consultés, paraît se dégager l'impression « que l'on n'a pas trouvé encore, pour les tramways et les chemins de fer vicinaux, de système réunissant des conditions tout à fait satisfaisantes au point de vue du fonctionnement régulier, du coût de premier établissement et du coût d'entretien ».

Le chauffage des trains des grandes lignes a réalisé, dans ces dernières années, des progrès sérieux; mais la question est beaucoup plus difficile pour les chemins de fer vicinaux ou les tramways, en raison de la disposition des voitures, munies de portes aux deux extrémités; du faible

(1) On commence par établir, en se basant sur le profil en long de la ligne, la dépense moyenne par tonne-kilomètre, ainsi que la puissance maxima que la batterie devra fournir eu égard aux conditions spéciales d'exploitation; en tenant compte du rendement des moteurs, qui devra être aussi élevé que possible, et en affectant le tout d'un coefficient de sécurité pour arrêts et démarrages, mauvais temps, mauvais entretien de la voie et du matériel, coefficient qui ne sera pas moindre de 30 p. 100, on aura, par une première approximation, une idée de la capacité nécessaire par tonne de poids sous le débit moyen et le débit maximum. Ceci permet d'établir le type d'élément qu'on doit choisir et d'arrêter ainsi, en raison du nombre de places demandées par l'exploitation, les données principales de la voiture.

(2) Diminution des frais généraux, facilité de surveillance.

(3) « Nous arrivons, en ce qui nous concerne, à fabriquer des plaques à un prix qui n'atteint pas 0,10 fr. au-dessus du cours du plomb. Ces batteries ne valent peut-être pas des batteries plus chères en tant que comparaison immédiate. Mais elles deviennent, en résumé, plus économiques, si on fait entrer tout en ligne de compte. Elles ne font guère que la moitié du nombre de kilomètres indiqués à Hanovre, mais nous arrivons néanmoins à une exploitation industrielle et nous doutons qu'on puisse obtenir meilleur marché. »

(4) La charge rapide doit être condamnée quand on a la possibilité de choisir. Toutes les batteries peuvent se charger rapidement si l'on augmente le voltage à la charge, mais cela ne peut se faire qu'au détriment du rendement puisque c'est sur le même bas voltage qu'elles restituent l'énergie qu'elles ont reçue. De plus, la charge rapide entraîne une destruction rapide des plaques. Chaque fois qu'il sera possible de manutentionner les batteries pour permettre la charge lente, on devra donc le faire. Cela entraîne par suite la proximité de l'usine par rapport à la ligne à exploiter; cette solution n'est donc pas toujours admissible. En mettant les batteries sous les voitures et en admettant des méthodes hydrauliques de manutention, on arrive, à Saint-Denis, à une immobilisation de la voiture dans le dépôt qui peut n'atteindre que 40 secondes, sans jamais dépasser le double. Le capital de première installation est alors diminué puisque la batterie seule est immobilisée pendant une heure que dure la charge, tandis qu'avec la charge rapide, la voiture entière est immobilisée pendant dix ou quinze minutes au moins. La charge rapide exige, en outre, un poids plus grand des batteries, puisqu'on utilise moins de la capacité, ce qui entraîne une augmentation du prix d'achat et des dépenses d'exploitation.

(5) La plupart des essais faits par voitures à accumulateurs auraient pu donner une satisfaction relative; il n'en a rien été parce que, dans la plupart des cas, on a voulu utiliser un matériel existant, plutôt que de créer un matériel approprié.

(6) Cela permettra la visite facile et le chargement des batteries. Tous les constructeurs l'ont compris et demandent un emplacement de plus en plus grand pour les batteries, en même temps qu'une facilité de visite mieux comprise.

emplacement qu'elles offrent pour le montage des appareils de chauffage ; de la fréquence des arrêts pendant lesquels les deux portes opposées sont souvent ouvertes à la fois, ce qui cause un refroidissement brusque et complet de l'air intérieur ; enfin, de l'importance que prennent sur ces lignes, dont le rendement kilométrique est souvent très faible, les dépenses de premier établissement et les frais d'exploitation.

Le rapporteur étudie successivement les systèmes suivants :

1° Chauffage par appareils mobiles : bouillotes, chaufferettes à briquettes, etc. (1) ;

2° Chauffage par poêles ; (1)

3° Chauffage à air chaud ; (2)

4° Chauffage à la vapeur ou à l'eau chaude ; (3)

5° Chauffage électrique ; (4)

Et arrive aux conclusions suivantes :

« A l'Assemblée générale tenue en 1894 par l'Union internationale permanente, la conclusion suivante fut adoptée :

« Le chauffage des voitures circulant à l'intérieur des villes n'est pas à recommander, mais il est utile de chauffer les voitures des lignes vicinales ». Les réponses qui ont été faites cette année à notre questionnaire prouvent que la conclusion prise en 1894 est justifiée. Il est désirable que la

(1) Les inconvénients des poêles sont nombreux et connus. Leurs avantages résident surtout dans leur simplicité et leur économie ; ils peuvent continuer à être employés en attendant mieux. Le coût d'installation d'un poêle à combustion lente, chauffé au coke ou à l'anthracite a été d'environ 35 francs pour des voitures à 24 places, et la dépense de combustible est de 0,25 fr. environ par voiture et par journée de quinze heures environ (lignes vicinales belges).

(2) Un foyer, placé à l'intérieur ou à l'extérieur de la voiture, chauffe par radiation l'air qui l'entoure : cet air chaud est distribué dans un système de tuyaux qui le conduisent dans la voiture. Coût de premier établissement = 350 francs environ par voiture ; dépenses d'exploitation, environ 0,05 fr. par voiture-kilomètre ; ce système a donné des résultats assez satisfaisants, mais il est difficile de maintenir la température dans les limites convenables.

On a essayé, sur les tramways d'Utrecht, sur système analogue, de MM. Janse et de Witte, utilisant le chauffage au gaz : une dépense de 320 litres de gaz à l'heure dans une voiture de 8,08 m de longueur de caisse donnait une température intérieure de 16° à 18° C., la température extérieure étant de 3° à 5° C.

(3) Il y a lieu de distinguer deux types différents.

a) *Appareils comportant un appareil distinct par voiture.* — Ils ne comprennent que des appareils à circulation d'eau chaude qui sont tous basés sur le principe du thermo-siphon. Certains dispositifs chauffent seulement l'air intérieur par une canalisation placée sous les banquettes ou le long des cloisons ; d'autres comportent en outre, dans le circuit de la tuyauterie, des chaufferettes sur lesquelles les voyageurs peuvent poser les pieds. Les faibles dimensions qu'on est forcé de donner à la chaudière empêchent souvent le fonctionnement régulier ; cependant ces appareils sont parmi ceux qui donnent les meilleurs résultats ; la congélation des conduites pendant l'hiver peut occasionner de sérieux inconvénients. La *Compagnie générale des chemins de fer vicinaux français* donne les renseignements suivants : dépenses de premier établissement, 300 fr environ par voiture ; consommation de charbon de bois, environ 0,37 fr par voiture-jour (réseau du Jura). Dépenses de premier établissement, 314 fr par voiture ; dépenses de charbon de bois (à 58 fr la tonne), environ 0,334 fr par voiture-jour (réseau de la Haute-Saône). Le *chemin de fer du Périgord* déclare une dépense de coke à 20 fr la tonne de 0,24 fr environ par voiture-jour. La *Compagnie générale des tramways suisses* déclare que les frais de premier établissement sont d'environ 200 à 250 fr par voiture et les frais d'exploitation (chauffage, montage, démontage, entretien) d'environ 0,30 fr par voiture-jour.

b) *Systèmes empruntant leur source de chaleur soit à la locomotive, soit à une chaudière installée dans un fourgon.* — Ces systèmes ne se rapportant pas à l'exploitation électrique, nous ne les décrirons pas.

(4) Les *tramways de Hanovre* donnent les renseignements suivants : frais d'installation, 50 fr environ par voiture ; dépense de courant par voiture-heure, pour une différence de température de 10° c. avec l'extérieur, de 1,75 kw-h par voiture-heure, soit environ 12,5 centimes ou 2 fr à peu près par journée de seize heures, ce qui est un prix très élevé.

La *Société des chemins de fer vicinaux belges* a constaté aussi « que ce chauffage était dispendieux et hors de proportion avec les résultats obtenus ». Pour un train de 2 voitures (une automotrice et une remorque), la dépense de courant était de 7 ampères, soit 0,18 fr par train-heure. Aux heures de forte charge, on devrait supprimer le chauffage en partie en raison de la surcharge qui en résultait à l'usine.

Le rapporteur signale la possibilité d'employer l'échauffement des rhéostats de réglage ou les rhéostats de freins pour obtenir des résultats moins dispendieux, mais ne donne aucun chiffre à ce sujet.

question du chauffage des voitures des chemins de fer vicinaux reste à l'ordre du jour des travaux de l'Union permanente de tramways et que l'enquête commencée se poursuive en vue des prochaines réunions. Les sociétés affiliées sont donc invitées à recueillir des renseignements sur la question et à poursuivre leurs expériences ».

(*A Suivre*). G. PELLISSIER.

CONGRÈS INTERNATIONAL D'ÉLECTRICITÉ [1]

L'INTENSITÉ LUMINEUSE DE L'ARC A COURANTS CONTINUS, par Mme Hertha AYRTON.

Il y avait parmi les courbes que M. Ayrton a montrées à Chicago en 1893 plusieurs d'entre elles qui reliaient l'intensité lumineuse moyenne sphérique de l'arc avec l'intensité du courant, étant donnés des écarts différents mais constants entre un charbon de 13 mm à mèche et un autre de 11 mm homogène. D'après ces courbes il a constaté qu'avec le même courant l'intensité lumineuse augmentait avec l'écart jusqu'à un certain point et puis diminue; ainsi, étant donnés les diamètres des charbons, il y a pour chaque intensité de courant un écart défini avec lequel on a une intensité lumineuse maximum. Ce fait nouveau et inattendu a été confirmé par M. Carhart, qui l'avait déduit indépendamment et d'un point de vue assez différent de ses propres expériences, et qui l'a annoncé à la même séance : il avait trouvé qu'avec un courant constant l'intensité lumineuse atteignait le maximum avec une certaine différence de potentiel entre les charbons. Or, avec des charbons et un courant donnés, la différence de potentiel entre les charbons ne dépend que de l'écart; donc les deux découvertes avaient rapport au même fait, fait qui n'a pas reçu jusqu'ici d'explication.

Pour mieux étudier ce phénomène, j'ai tracé, en me servant des expériences de M. Ayrton, les courbes reliant l'intensité lumineuse moyenne sphérique et l'*écart entre les charbons* au régime de courant constant. J'ai trouvé que non seulement ces courbes présentaient le maximum que M. Ayrton avait annoncé, mais que celles qui avaient rapport à des courants plus grands que 10 ampères, présentaient en outre un minimum avec un écart d'environ de 2 mm, le maximum se produisant alors pour un écart d'environ 4 mm.

Pour bien m'assurer que, pour les minimums avec de forts courants, les expériences de M. Ayrton étaient confirmées par les recherches d'autres observateurs, j'ai examiné la série d'expériences remarquables de M. Blondel, publiées en 1897 [2]. M. Blondel n'a pas tracé les courbes qui relient le flux lumineux avec l'écart des charbons à courant constant, mais avec leur différence de potentiel. Puisqu'il n'a pas employé de courant plus grand que 10 ampères, les indications que donnent ses courbes d'une diminution dans le flux total de lumière avec des arcs de 2 mm environ ne semblaient être que des erreurs d'observation. Néanmoins les minimums existaient; et en traçant d'après les tableaux admirables de M. Blondel les courbes qui relient le flux de lumière avec la longueur de l'arc j'en ai trouvé un assez grand nombre qui montraient des indentations (les longueurs d'arc étant de 2 ou 3 mm) et deux spécialement où il y avait de vrais minimums.

Les expériences de M. Blondel ont été très complètes. Elles comprennent tous les écarts à partir de 0 mm jusqu'à ceux de 11 mm, 12 mm, et même quelquefois de 16 mm, et nous donnent la forme entière de la courbe, depuis l'arc de 0 mm jusqu'à celui où l'intensité lumineuse ne change guère en allongeant l'arc. Cette forme nous montre qu'en écartant les charbons, le courant étant constant et d'une grandeur suffisante, on arrive d'abord à un maximum d'intensité lumineuse (A),

(1) Voir les numéros précédents, p. 275, 294, 334 et 374.

(2) *L'Éclairage Électrique*, t. X, p. 289, 496, 539, 13 février, 13 et 20 mars 1897.

ensuite, avec un écart un peu plus grand, à un minimum (B), puis avec un écart beaucoup plus grand à un second maximum (C).

Pour vérifier l'existence du premier maximum (A) et du minimum (B) MM. Newton et Good ont fait pour moi, au Central Technical College, des expériences qui ont tout à fait confirmé celles de M. Ayrton et de M. Blondel. Ils ont comparé l'intensité lumineuse de deux arcs de 30 ampères, l'un de 1 mm et l'autre de 2 mm entre des charbons de 13 mm à mèche et 11 mm homogène, identiques avec ceux de M. Ayrton. L'expérience a duré quatre jours, et des précautions minutieuses ont été prises pour que les conditions fussent absolument les mêmes pour les deux arcs. Pour 17 des 18 expériences qu'ils ont faites, l'arc de 1 mm avait une intensité lumineuse plus grande que celui de 2 mm, ce qui paraît être assez conclusif.

Pour bien voir s'il aurait été possible de prédire ce fait si singulier, il faut examiner en détail les différentes sources de lumière dans l'arc. Il y en a cinq, que j'écris dans l'ordre de leur importance : 1° le cratère; 2° la tache blanche à l'extrémité du crayon négatif; 3° la vapeur; 4° et 5° les parties rouges des charbons.

C'est au cratère, comme on sait, que l'on doit la plus grande part de la lumière de l'arc ; seulement tout ce qui y est produit ne réussit pas à passer le crayon négatif, de sorte que, quand les charbons sont très peu écartés, presque toute cette lumière est arrêtée. Plus on écarte les charbons, plus la lumière du cratère peut s'échapper; et l'arc n'a pas besoin d'être bien long pour qu'en effet toute la lumière trouve moyen de passer. Ainsi, supposant que l'éclat intrinsèque du cratère (le flux de lumière émis par millimètre carré) ne diminue pas, et que son étendue ne diminue pas non plus, la quantité de lumière émise par le cratère et qui peut passer le crayon négatif pour être utilisée, doit s'accroître continûment quand l'arc augmente de longueur mais de plus en plus lentement.

Or, déjà en 1881, le capitaine Abney (Sir W. de W. Abney à présent) a trouvé que l'éclat intrinsèque du cratère était tout à fait constant pour des charbons donnés, ne dépendant, ni du courant, ni de la longueur de l'arc. Et en 1896, j'ai signalé à Toronto que, loin de diminuer, l'étendue du cratère augmente un peu, quand l'arc est allongé à courant constant. Par conséquent, la courbe qui représente la relation entre cette portion de la lumière du cratère qui est utilisable et la longueur de l'arc devrait régulièrement s'écarter de l'axe sur lequel sont portées les longueurs des arcs.

Quant aux quatre autres sources de lumière, j'ai constaté que la tache blanche a une aire constante avec courant constant; donc sa lumière utile doit augmenter avec la longueur de l'arc. Car elle aussi s'échappe de plus en plus facilement en écartant les charbons davantage. La quantité de lumière émise par la vapeur doit aussi augmenter avec la longueur de l'arc, puisque la surface d'émission augmente en même temps. La lumière émise par les parties rouges des charbons ne compte pas beaucoup, mais telle qu'elle est, j'ai constaté qu'elle augmente en allongeant l'arc, puisque la longueur rouge de chaque charbon augmente.

Ainsi, la lumière donnée par chaque source dans l'arc augmente en même temps que l'écart entre les charbons, et la courbe qui représente la relation entre l'intensité lumineuse de l'arc et l'écart entre les charbons doit, alors, prendre une forme analogue à celle indiquée en parlant de la lumière émise par le cratère seul.

Comment se trouve-t-il, donc, que la courbe ne prend pas du tout cette forme, quand elle est déterminée expérimentalement ? Que, au lieu de s'accroître continûment, elle montre deux maximums et un minimum d'intensité lumineuse ? Cherchons d'abord la raison du premier maximum et du minimum. Pour cela, il faut considérer de nouveau l'occultation de la lumière du cratère par le crayon négatif.

Dans la considération que nous lui avons déjà donnée nous n'avons pas tenu compte des différentes formes que prend ce crayon suivant l'intensité du courant et la longueur de l'arc. Or, j'ai démontré en 1895 que les formes des deux charbons changent beaucoup lorsque ces deux variables sont chargées; qu'il se forme même une espèce de pointe supplémentaire très aiguë à l'extrémité

du négatif, avec de grands courants et arcs courts, pointe qui disparaît entièrement lorsque l'arc est allongé.

C'est ce que l'on voit nettement en comparant les quatre images de charbons distants de 1 mm et de 2 mm respectivement avec un courant de 6 ampères et avec un courant de 28 ampères. La pointe supplémentaire ne se montre pas du tout dans les deux premières, mais elle se voit très bien dans l'arc de 2 mm, et mieux encore dans celui de 1 mm avec courant de 28 ampères. C'est surtout la distance entre l'attachement de cette pointe et la bouche du cratère qui détermine la quantité de la lumière du cratère qui passera le négatif; car la pointe elle-même n'arrête que très peu la lumière. Or, la distance entre l'attachement et le cratère dans les deux arcs de 28 ampères est à peu près égale. Ajoutez que toute l'extrémité du négatif est plus longue et plus mince pour l'arc de 1 mm que pour celui de 2 mm, et l'on trouve assez de raisons pour que l'intensité lumineuse du premier soit plus grande, ou du moins aussi grande que celle du dernier.

Enfin, en écartant les charbons d'un arc à forts courants, la quantité de la lumière du cratère qui passe le crayon négatif est réglée par deux tendances opposées. L'accroissement de la distance entre les charbons tend à l'augmenter, mais l'épointement de l'extrémité du négatif qui en suit tend à l'amoindrir. Quand, en passant d'un écart à un autre, à courant constant, l'augmentation gagne sur l'amoindrissement, l'intensité lumineuse de l'arc s'accroît. Quand les deux tendances se contre-balancent, elle reste constante, et quand l'amoindrissement gagne sur l'augmentation elle diminue. Le premier cas est celui qui se produit avec les arcs de 1 mm et moins, et le dernier avec les arcs de 2 mm environ dans les expériences de M. Ayrton et de M. Blondel.

Il ne vaudrait peut-être guère la peine de donner tant d'attention à la possibilité d'avoir plus de lumière avec un arc bien court qu'avec un plus long, s'il n'en suivait pas la conséquence bien pratique que voici.

La différence de potentiel entre les charbons à courant constant est moindre avec de petits écarts qu'avec de grands. La puissance dépensée dans l'arc court est moindre, donc, que dans l'arc long avec les charbons et les courants dont il s'agit. Ainsi, l'arc de 1 mm environ donne plus de lumière avec moins de puissance que l'arc de 2 mm environ, c'est-à-dire que le petit arc ne donne pas seulement le plus de lumière, mais il a aussi réellement le meilleur rendement.

D'ailleurs j'ai démontré en 1896 que le rapport $\frac{\text{puissance dépensée dans l'arc}}{\text{puissance développée par le générateur}}$ augmente lorsqu'on diminue l'écart entre les charbons à courant constant. Donc le rapport

$$\frac{\text{intensité lumineuse}}{\text{puissance développée par le générateur}}$$

est plus grand aussi avec un grand courant, pour l'arc de 1 mm que pour celui de 2 mm. A de grands courants constants donc, l'arc court à négatif bien effilé a tous les avantages sur l'arc un peu plus long à négatif épointé : non seulement il donne plus de lumière, mais il a un meilleur rendement. Voyons s'il donne un meilleur rendement, non seulement que les arcs un peu plus longs que lui, mais aussi que les arcs de toutes longueurs avec même courant.

Au point de vue de l'économie deux choses sont essentielles dans l'arc. Premièrement il faut que plus la grande quantité possible de l'énergie fournie à l'arc soit convertie en lumière, et secondement il faut faire en sorte que la plus grande partie possible de cette lumière puisse être utilisée. Ayant égard à la première considération, j'ai démontré ailleurs que la puissance donnée à un arc de l mm entre des charbons homogènes de 11 mm et 9 mm avec un courant de A ampères est $[(38,88 + 2,07\, l)\, A + 11,66 + 10,54\, l]$ watts. De cette puissance, comme il s'ensuit de ce que j'ai constaté à Bristol en 1898, $(38,88\, A + 11,66 + 3,1\, l)$ watts sont dépensés aux jonctions des deux charbons avec l'arc gazeux et $(2,07\, A + 7,44\, l)$ watts, sont dépensés dans l'arc gazeux lui-même.

Ainsi pour chaque augmentation de l'écart de 1 mm, il y a une augmentation de 3,1 watts seulement dans la puissance donnée aux jonctions du cratère, car le terme $3,1\, l$ appartient au crayon positif, et une augmentation de $(2,07\, A + 7,44)$ watts dans la puissance dépensée dans l'arc gazeux.

Avec un courant constant de 10 ampères par exemple, l'augmentation de puissance demandée au cratère pour chaque allongement de 1 mm dans l'arc n'est que 3 watts, pendant que l'arc gazeux, qui ne contribue qu'à l'émission d'une faible fraction de la lumière totale, exige 27 watts, neuf fois autant. Il est donc évident que la méthode la plus économique de convertir la puissance en lumière est d'employer un arc aussi court que possible.

L'arc court donc, à n'importe quel courant, est doublement économique en ce qui concerne la *production* de la lumière. Il est économique, comme je l'ai déjà signalé, parce qu'il s'approprie une grande partie de la puissance développée par le générateur. Il est économique parce qu'il transforme une grande partie de cette puissance en lumière.

Cependant les avantages de l'arc bien court de 1 mm ou environ n'ont pas, jusqu'ici, été bien reconnus; ils ont été obscurcis, comme la lumière du cratère, par le crayon négatif. A quoi bon toute cette économie dans la *création* de la lumière, si, après tout, elle est enfermée comme dans une boîte? C'est ici qu'intervient l'arc très court *à grands courants*. Dans cet arc la lumière créée n'est pas enfermée entre les deux charbons; la pointe bien effilée du négatif laisse passer plus de lumière que si l'arc était deux ou trois fois plus long, avec un négatif épointé. Non seulement, donc, l'arc court convertit, transforme la plus grande partie possible de la puissance du générateur en lumière, mais s'il est aussi à grand courant, il nous permet d'utiliser la plus grande partie possible de cette lumière. En somme l'arc très court à grands courants réunit toutes les conditions nécessaires à la plus grande économie.

Pour preuve que ce que je dis là n'est pas seulement vrai en théorie, nous pouvons encore consulter cette mine de richesses expérimentales, les recherches de M. Blondel.

Dans ses recherches à courant constant, M. Blondel a employé, entre autres, quatre paires de charbons de la même qualité, les positifs à âme et les négatifs homogènes, avec des diamètres de 18-14, de 14-12, de 10-10 et de 8-6 mm.

J'ai tiré des chiffres qu'il a donnés dans ses tableaux, pour chacune de ces paires de charbons, les courbes qui reliaient le rendement et la longueur de l'arc, pour des arcs de 0 jusqu'à 10 mm, à un courant constant de 10 ampères. Pour une paire (10-10), le rendement maximum était mal défini, mais, pour les trois autres, il se trouvait avec des arcs de 1 mm, de 0,7 mm et de 1,25 mm respectivement. Ainsi, même avec des charbons aussi grands que 18 mm et 14 mm, et un courant aussi petit que 10 ampères, c'est un arc court de 1 mm qui est le plus économique.

Il y a une autre considération qui tend à rendre économique l'emploi des arcs courts; c'est que le crayon négatif, et non tous les deux crayons, se consomment moins vite que dans l'arc long pour la même intensité de courant. Il y a deux raisons pour cela. D'abord l'arc court s'étend plus loin le long du négatif et ainsi le protège mieux de l'air. Ensuite, le charbon qui est rejeté du crayon positif, au lieu de se répandre et d'être dissipé, reste sur la pointe du négatif et y forme même, je crois, cette pointe supplémentaire qui est la cause principale de l'économie des arcs courts à grands courants.

L'aiguisement du charbon négatif avec les grands courants et une petite longueur a donc une valeur bien pratique. Elle nous permet d'approcher les conditions idéales pour l'arc quant à l'économie. Ces conditions idéales sont :

1° Que l'écart entre les charbons soit zéro ;

2° Que l'extrémité du crayon négatif soit infiniment mince.

Il est vrai que cet idéal ne peut jamais se réaliser, mais il est toujours utile de connaître l'idéal, car il nous montre la direction du progrès. Le progrès le plus évident en ce cas serait :

1° D'employer avec des charbons donnés les arcs les plus courts et les courants les plus grands possibles sans approcher trop près du sifflement;

2° De trouver un crayon négatif qui aurait dans l'arc une extrémité même plus longue et plus mince que les charbons employés à présent, et qui brûlerait néanmoins beaucoup plus lentement.

Examinons maintenant le point d'intensité minimum dans les courbes qui relient l'intensité lumineuse de l'arc avec sa longueur. Ce point-ci, comme nous l'avons déjà vu, ne dépend ni des changements dans les formes des charbons, ni des variations d'intensité dans les quatres sources de lumière de l'arc. C'est donc à la quantité de lumière reçue du cratère qu'il faut attribuer les variations de lumière qui produisent cette seconde diminution d'intensité après une certaine longueur d'arc. Cette diminution diffère de la première dont nous avons parlé, étant trouvée avec tous les courants de n'importe quelle intensité.

La quantité de lumière reçue du cratère ne peut dépendre que de trois circonstances : 1° l'étendue du cratère, 2° son éclat intrinsèque; 3° les empêchements interposés au passage de sa lumière par le crayon négatif ou autre chose. Quant à son étendue, j'ai déjà démontré qu'elle *augmente* avec l'écart entre les charbons. Quant à son éclat intrinsèque, nous avons vu que sir William Abney l'a trouvé absolument constant.

Il est vrai que M. Blondel a cru trouver que l'éclat maximum du cratère variait, dans une de ses expériences, de 163 bougies décimales par millimètre carré. avec un courant de 5 ampères, jusqu'à 210 bougies avec un courant de 25 ampères. Mais, comme il l'a remarqué en même temps, genre de mesures est bien difficile à faire, à cause du changement continuel de la position du cratère : donc il ne faut pas trop s'y fier; du reste, même si les mesures avaient pu être exactes, il est impossible de croire que les variations observées dénotaient des changements de l'éclat intrinsèque du cratère; car, si cet éclat n'est pas constant, la température du cratère ne peut être constante non plus. Or, les expériences de Rossetti, de Nakaus et de plusieurs autres observateurs, mais surtout celles de Violle, prouvent que la température du cratère est absolument constante à la pression de l'atmosphère. Donc, ce n'est pas à de vraies variations de l'éclat du cratère que l'on peut attribuer ses variations apparentes, et, par conséquent, ce n'est pas une diminution de l'éclat intrinsèque du cratère qui peut être la cause de l'amoindrissement de l'intensité lumineuse de l'arc après une certaine longueur.

Il ne reste qu'une seule manière d'expliquer cet amoindrissement. C'est par un empêchement quelconque, outre celui présenté par le crayon négatif; car celui-ci, comme nous l'avons vu, occulte la lumière du cratère de moins en moins à partir d'une longueur d'arc de 3 mm environ. Nous avons donc à chercher quelque autre empêchement au passage de la lumière du cratère.

En songeant à toutes les causes qui pourraient contribuer à un tel empêchement, il m'est venu l'idée que quoique la lumière *émise* par millimètre carré du cratère était nécessairement constante, à cause de la constance de sa température. Il en était pas du tout de même de la quantité qui frappait les yeux ou l'écran du photomètre. Car, en passant du cratère aux yeux, la lumière traverse nécessairement une région pleine d'une substance qu'on appelle *vapeur de charbon*. Si donc cette substance pouvait, par exemple, absorber une quantité de lumière perceptible, alors en allongeant l'arc, on augmenterait la quantité de matière absorbante que les rayons auraient à traverser, et l'on diminuerait ainsi la quantité de lumière qui en sortirait.

On pourrait faire à cette théorie l'objection qu'il n'y a jamais assez de vapeur pour absorber la quantité de lumière nécessaire pour causer la diminution d'intensité dont il s'agit. Probablement non, si c'était de la vapeur pure et simple. Mais, loin de cela, car déjà en 1822 Silliman, éditeur du journal de son nom, a observé (un fait bien reconnu depuis lors) qu'il y avait toujours un courant continu de *particules solides* de charbon, rejetées du pôle positif vers le négatif.

En 1897 aussi, Herzfeld, à la suite d'une belle expérience, a réussi à attirer ces particules hors de l'arc, sur une plaque bien isolée et chargée à un haut potentiel, placée à 8 cm de l'arc.

Nous voyons donc que l'arc ne peut pas être composé de *vapeur* seulement, tout au contraire, il doit avoir une composition bien complexe de vapeur, de gaz et de particules de charbon solide, Or, j'ai raisonné ainsi : les particules solides puisqu'elles sont chauffées à blanc, devraient certainement réfléchir une partie de chaque rayon qui les frappe, et ils en réfracteront et absorberont d'autres parties. Par conséquent, cet arc, dit *gazeux*, mais qui n'est pas du tout purement gazeux, doit jeter une ombre. Donc en faisant passer la lumière du cratère d'un arc à travers un autre arc, l'ombre du second devrait se montrer sur l'écran qui recevrait la lumière.

Pour vérifier ce raisonnement, M. Mather a eu la bonté d'essayer l'expérience pour moi, et à coup sûr l'ombre du second arc se définit bien nettement sur l'écran. Il était bien difficile de photographier une ombre si changeante et si délicate entre crayons si noirs, et malheureusement les nuances de l'ombre sont perdues. Néanmoins une photographie a été prise par MM. Filhian et Denny, deux étudiants du Central Technical College. On y voit bien la forme de l'ombre ainsi qu'une ligne de lumière qui l'environne. Cette ligne, M. Mather a été le premier à l'observer, et il a tout de suite vu sa signification. C'est que l'arc est une lentille qui réfracte ainsi la lumière qui la traverse du cratère.

De la forme de cette lentille on peut déduire que l'arc est moins épais que l'air chaud qui l'environne, car elle est d'une forme doublement convexe et cylindrique, et, si elle était plus épaisse que l'air, avec cette forme là, son ombre aurait une tache blanche de lumière *au centre*. L'arc se conduit donc comme une lentille négative.

Si l'arc ne faisait que réfracter la lumière du cratère, ou si, même, il la réfractait et la réfléchissait seulement, il n'y aurait pas besoin, pour cela, qu'une partie de cette lumière fût perdue. Cela pourrait changer la *disposition* seulement de la lumière sans en changer sa quantité.

Il est vrai qu'en réfractant la lumière du cratère l'arc courbe, de façon à les faire absorber par le crayon négatif, quelques rayons qui, sans cela, auraient atteint l'œil. Mais, après un examen géométrique de plusieurs images des arcs de différentes longueurs avec le même courant, je me suis convaincu que cette absorption, qui est toujours assez petite, en effet, diminue quand l'arc est allongé. Ainsi, quant à cette réfraction, l'intensité lumineuse de l'arc doit *augmenter* en écartant de plus en plus les charbons. Non, ce n'est pas avec une occultation par les charbons que nous avons à faire, c'est avec une perte réelle de lumière par absorption dans l'écart entre les charbons. Car voyons ce qui doit arriver quand la lumière du cratère traverse cet espace plein de vapeur, de gaz et de particules solides de charbon qu'on appelle l'*arc gazeux*.

Il est convenu que la lumière du cratère est en partie réfléchie et en partie réfractée par chaque particule de charbon solide qu'elle rencontre, Donc nul rayon qui en rencontre une particule ne passera droit à travers l'arc. Beaucoup n'en rencontreront peut-être pas du tout, d'autres n'en rencontreront que quelques-unes, mais d'autres seront réfléchis et réfractés, de particule en particule, de long en large; et à chaque réflexion et réfraction un peu de leur lumière sera absorbée. Plus il y aura de particules dans l'arc, plus la lumière du cratère en sera absorbée. Ainsi, s'il y a plus de ces particules dans l'arc long que dans celui qui est court, c'est tout ce qu'il faut pour que l'intensité lumineuse de l'arc diminue après une certaine longueur. Car en écartant les charbons (quand il n'y a plus de pointe supplémentaire au négatif), on aura un accroissement de l'intensité lumineuse à cause de l'augmentation de l'écart entre les charbons et une diminution à cause de l'absorption de la lumière du cratère par les particules solides dans l'arc. Ainsi quand, en allongeant l'arc d'une longueur à une autre, l'accroissement de lumière sera moins grand que l'amoindrissement, l'intensité commencera à diminuer.

Il ne reste plus qu'à démontrer qu'il y a plus de particules solides dans l'arc long que dans l'arc court. C'est ce que j'essaierai de faire.

Le charbon s'évapore à la surface du cratère, tout le monde en est d'accord. Mais comment se trouve-t-il que l'on est d'accord aussi à croire qu'il reste à l'état de vapeur, même à une distance de 1 cm du cratère ou plus? La vapeur d'eau quand elle quitte le bec d'une bouillote, ne reste à l'état de vapeur qu'à travers une très petite distance, et plus loin elle devient du brouillard. Qu'est-ce qui empêche que la vapeur de charbon se transforme en brouillard de charbon à une petite, une très petite distance du cratère? Car il y a beaucoup plus de différence entre les températures de la vapeur de charbon et de l'air qui environne l'arc qu'il n'y en a entre les températures de la vapeur de l'eau et de l'air qui environne le bec de la bouillotte. Il est vrai que le courant, en traversant l'arc, doit le chauffer, mais il le chauffe également par tout son long, tandis que l'air doit refroidir beaucoup plus la partie de la vapeur qui est loin du siège de vaporisation, le cratère, que celle qui en est près. Donc, il faut que l'arc ait une courbe tombante de température qui diminue en allant du cratère jusqu'au crayon négatif.

Il y a une petite expérience que j'ai faite assez souvent qui démontre bien que la température de l'arc tout près du cratère est plus haute qu'en aucune part. En mettant l'extrémité d'un petit crayon de charbon, bien mince, dans l'arc, près du cratère, on peut le courber assez pour lui faire faire un angle perceptible en le pressant contre le crayon positif; mais il n'y a nulle autre partie de l'arc où cela puisse se faire. Si, par exemple, on introduisait deux de ces petits charbons dans l'arc, et les pressait l'un contre l'autre, il était impossible de les courber. Et c'était la même chose en pressant l'un d'eux contre le négatif. Il ne fléchissait pas le moins du monde. Cela prouve, je crois, que, tout près du cratère, l'arc est si chaud qu'il peut amollir le charbon, mais que, plus loin, il est trop froid pour le faire. C'est donc plus que probable que la vapeur de charbon, en quittant le cratère, agit tout à fait comme la vapeur d'eau en quittant le bec d'une bouillotte. A travers une toute petite distance, elle reste à l'état de vapeur, et, plus loin, elle devient du brouillard de charbon se refroidissant de plus en plus en allant de plus en plus loin du cratère.

Si la couche de vapeur étendue sur le cratère était bien mince, et si elle avait (comme toutes les vapeurs) une résistance spécifique bien grande, la résistance de cette couche pourrait être assez forte pour expliquer la grande différence de potentiels qui se trouve toujours entre le charbon positif et l'arc. Le brouillard, au contraire, qui serait mêlé de gaz brûlants n'aurait qu'une résistance relativement médiocre, et la résistance de l'arc gazeux serait relativement petite, comme on le trouve en réalité.

Quoi qu'il en soit, si la vapeur de charbon se transforme en brouillard à une petite distance du cratère (et les particules solides de charbon rejetées par le positif en aideraient la transformation) alors en allongeant l'arc on augmente la quantité de ce brouillard, et l'on force la lumière du cratère à traverser plus de matière absorbante de sorte que la quantité de cette lumière qui est absorbée par l'arc s'accroît avec la longueur de l'arc.

LES PROGRÈS DES LAMPES ÉLECTRIQUES, par André Blondel, ingénieur des Ponts et Chaussées (1)

Progrès des lampes a incandescence. — La lampe à incandescence a continué de progresser aux points de vue de la régularité de la fabrication, du rendement, de la durée et du prix de revient; de nombreux essais ont été faits pour en modifier le principe, mais ce n'est que depuis peu de temps qu'on est arrivé à des résultats encourageants.

On examinera donc ici d'abord les lampes à filaments de carbone, puis les nouveaux filaments proposés pour les remplacer.

Lampes à filaments de carbone. — Les lampes à incandescence jusqu'à présent seules en usage sont les lampes à filaments de charbon. Elles sont employées ordinairement de 8 à 32 bougies ou 36 bougies; exceptionnellement ou va à 50 ou 100, ou on descend à 3 ou 5 bougies pour des groupes de petites lampes. Elles doivent leur succès à leur commodité d'installation et d'allumage, supérieure à celle de tous les autres brûleurs, aux effets d'illumination variés qu'elles permettent, à leur éclat bien constant et à l'absence de tout produit de combustion capable de vicier l'air. On peut être tenté de leur reprocher aujourd'hui leur teinte moins blanche que celle des brûleurs à incandescence par le gaz auxquels notre œil est accoutumé; mais la composition spectrale de leur lumière, étudiée par divers expérimentateurs, principalement par M. Nichols, est au contraire beaucoup plus favorable à la vision, parce qu'elle est riche surtout en rayons jaunes qui donnent le maximum d'acuité visuelle, et pauvre en rayons très réfrangibles qui fatiguent l'œil.

Progrès de la théorie. — Il est regrettable, au point de vue précédent, que la définition du régime des lampes par leur degré d'incandescence, proposée par M. Crova en 1889, ne soit pas entrée dans la pratique industrielle (2). On aurait pu, par cette méthode, rendre aisée la détermi-

(1) Voir la première partie de ce rapport, relative à l'éclairage par arc, dans *L'Éclairage Électrique* du 1er septembre, p. 342.

(2) D'après M. Crova, ce degré varie de 1,05 à 1,23 pour les lampes à incandescence, au lieu de 1,7 pour les lampes à arc.

nation de la température du filament. Mais divers expérimentateurs ont étudié cette température par d'autres procédés et sont arrivés à d'intéressants résultats. D'après le professeur Weber, qui a fait une savante théorie de l'incandescence, la température atteinte dans les lampes à incandescence est de 1565° à 1588° et atteint 40° de plus pour les lampes à plus gros filaments. M. Le Chatelier, à l'aide de son pyromètre optique a trouvé des chiffres bien élevés, voisins de 1800°, en même temps qu'il constatait une diminution de résistance de 49 p. 100. M. Janet, qui a fait les mesures les plus précises à l'aide d'une très ingénieuse méthode fondée sur l'étude du refroidissement d'un filament, a trouvé des chiffres de 1610° à 1720°, pour des lampes de 16 bougies à 65 volts.

La seconde de ces méthodes fondée sur la mesure de l'éclat intrisèque, peut être rendue illusoire par une erreur qui figure dans tous les traités et qui consiste à admettre que l'éclat d'un filament dépend uniquement de sa température et de la nature de la surface. On oublie ainsi que les épaisseurs des filaments ordinaires, inférieures à $\frac{1}{10}$ de millimètre, sont plus faibles que l'épaisseur limite de rayonnement du carbone solide; la preuve en est dans le fait que les filaments incandescents sont transparents et paraissent ainsi plus brillants aux croisements des boucles. L'éclat intrinsèque à température donnée croît donc avec le diamètre du filament, et celui-ci doit être considéré comme rayonnant par sa masse et non pas par sa surface.

L'éclat i va en diminuant du centre au bord du filament comme on le vérifie aisément au microphotomètre et le flux émis par un élément de surface $d\sigma$ du filament n'est plus égal à $\pi i_0 \, d\sigma$, comme on l'a admis jusqu'ici.

Pour les gros filaments, dont le diamètre dépasse beaucoup l'épaisseur limite, la diminution de l'éclat ne se produit que très près des bords et la loi usuelle peut être conservée à titre d'approximation. On pourrait être tenté de croire que l'accroissement d'éclat avec le diamètre entraîne un accroissement de rendement lumineux, mais il ne faut pas oublier que toutes les radiations sont accrues en même temps et il est vraisemblable que l'épaisseur limite varie peu suivant leur réfrangibilité.

Un autre point sur lequel les idées acquises ont reçu un démenti au moins relatif, c'est la variation de la résistance des filaments en fonction de la température. Dès 1887, M. Anthony avait observé dans certaines lampes un changement de signe du coefficient de température ; dernièrement, M. Howell, par une étude systématique, a montré que l'âme des filaments décroît bien de résistance quand la température croît, mais que le carbone déposé par nourrissage se comporte, au contraire, comme du graphite pur et augmente de résistance. Suivant la proportion de l'âme et du carbone déposé, les filaments peuvent donc présenter des variations de sens opposés et même des variations presque nulles.

Les deux phénomènes qu'on vient de signaler présentent un intérêt immédiat pour le choix de filaments dans la fabrication des lampes ; c'est pourquoi on les signale ici, sans insister sur les autres questions théoriques qui se rattachent aux lampes à incandescence.

Progrès de la fabrication. — Dans son ensemble, les méthodes de la fabrication des lampes à incandescence n'ont pas subi de changements essentiels depuis dix ans, et cependant les perfectionnements de détails et la concurrence ont réalisé une amélioration considérable.

Une bonne lampe de 16 bougies (110 volts) qui, en 1889, coûtait 3 fr, se vend aujourd'hui en France 0,50 à 0,60 fr ; son vide est meilleur, son filament plus solide et plus durable, son rendement supérieur.

On fait aujourd'hui des filaments très fins parfaitement homogènes et uniformes, grâce à l'emploi de la cellulose dissoute filée sous pression. Ces procédés, analogues à ceux de la soie artificielle et qui ont de nombreuses variantes, suivant le dissolvant employé pour la cellulose (chlorure de zinc, alcool-éther, acide sulfurique, etc.) et le mode de solidification, ont aujourd'hui presque complètement remplacé tous les autres, même ceux d'Edison et de Swan, pour les filaments ordinaires. Seulement ils se prêtent mal à la fabrication des filaments de gros diamètre, pour lesquels on obtient des filaments plus sûrement exempts de bulles et plus denses par filage de poudre de carbone agglomérée sous pression, comme pour les charbons des lampes à arc.

Ces filaments modernes sont par eux-mêmes assez durs et assez homogènes pour que le nourrissage par dépôt de carbone ne soit plus nécessaire pour les uniformiser comme autrefois. Cependant la carburation par incandescence dans les vapeurs hydrocarbonées reste une opération essentielle à un autre point de vue (¹) : le carbone déposé à haute température forme sur le filament un revêtement plus dense et moins facilement vaporisable par arrachement ; il retarde le noircissement de l'ampoule tout en permettant d'élever la température ; il permet en outre de modifier dans une certaine mesure la résistance électrique du filament, grâce à la grande conductibilité du carbone déposé, qui atteint huit ou dix fois celle de l'âme.

Malheureusement ce changement de résistance est rapide et difficile à régler (²) : pour le faciliter on emploie aujourd'hui des procédés automatiques.

La production du vide dans les ampoules a été également beaucoup plus perfectionnée par l'emploi de pompes à mercure très puissantes dont l'action est précédée d'un premier vide (à 0,5 mm de mercure) fait rapidement par des pompes mécaniques. Certaines fabriques remplacent le second vide par un *vide chimique* (procédés Malignani, etc.) obtenu en introduisant préalablement dans les ampoules une substance chimique secrète (à base de phosphore, dit-on) qu'on chauffe après un deuxième vide effectué après introduction d'un hydrocarbure gazeux ; les vapeurs produites se précipitent en enlevant toute trace d'air et le vide est à la fois plus parfait et plus rapide (deux minutes au lieu de dix ou quinze) qu'avec les pompes à mercure. Le vide est très régulier, facile à vérifier par essai à la bobine, et la lampe a été comme d'habitude portée pendant l'opération à un degré d'incandescence bien plus élevé que celui auquel elle est destinée, mais on n'opère ainsi que sur une seule lampe à la fois, au lieu d'un groupe de cinq à dix.

Les soudures du filament aux fils d'attache, obtenues autrefois par précipitation de carbone dans un hydrocarbure liquide, sont faites aujourd'hui le plus souvent dans un but d'économie, mais un peu au détriment de la solidité, à l'aide d'une pâte de charbon et de goudron portée à haute température dans une étuve. Les fils d'attache sont en nickel ou ferro-nickel ; divers procédés, notamment l'emploi de ferro-nickel à 45 p. 100 de nickel, d'émaux conducteurs, etc., ont été employés pour supprimer le platine au passage du verre ; mais on se contente, en général, de réduire au minimum (12 mm) la longueur de cette partie en platine.

Grâce à tous ces perfectionnements, et souvent à la division du travail entre plusieurs fabricants spécialistes, le prix de la lampe de 16 bougies, qui était encore de 3 fr en 1889, s'est abaissé à 0,50 fr environ, dont 0,05 fr pour l'ampoule et autant pour le platine (³). Quelques inventeurs proposent de le réduire encore en remettant à neuf les lampes brûlées, mais d'après ce qui précède, le bénéfice ne peut être que bien faible.

Montures et culots. — Au début des lampes à incandescence, chaque fabricant ayant breveté le culot qu'il adaptait à sa lampe, il existait autant de culots que de systèmes : Edison, Swan, Siemens, etc., et l'on devait changer ses douilles en même temps que son fournisseur. Les plus compliqués ont été éliminés et aujourd'hui on peut dire qu'il n'existe plus que deux systèmes de culots généralement employés, la vis Edison et la baïonnette Swan ; l'ampoule est scellée dans une virole métallique par du plâtre. Cette matière, facile à adapter, mais peu solide, et gonflant au séchage, et hygroscopique, a été réduite au minimum ; on l'a supprimée dans l'intervalle entre les attaches pour éviter l'électrolyse et les courts-circuits ; ses défauts ont même conduit plusieurs constructeurs à essayer des culots à scellement métallique ; mais ceux-ci, bien que souvent très ingénieux, ne sont pas entrés dans la pratique générale, à cause du supplément de main-d'œuvre qu'ils exigent. Plus récemment, on a imaginé des types de têtes de lampes utilisables sans scellement.

(¹) Certains fabricants carburent *en outre* leurs produits pendant la cuisson.

(²) La structure moléculaire du carbone et peut-être son état de pureté (il peut se déposer des hydrocarbures) dépendent de la température et de la pression : la première est difficile à évaluer ; la seconde, qui ne dépasse pas quelques millimètres de mercure, varie pendant l'opération par l'effet de l'élévation de température.

(³) Malgré cette faible consommation de platine, comme on ne le récupère pas, il se perd environ chaque année 2500 kg de platine, valant plus de 6 millions, et ce métal deviendra bientôt rare.

Rendement lumineux. Lampes poussées. — Le point sur lequel il a été fait le moins de progrès, c'est le rendement lumineux, que l'on rapporte généralement à l'intensité horizontale maxima. D'excellents résultats sont annoncés par les fabricants, mais ils sont obtenus généralement sur des batteries d'accumulateurs. En pratique sur les secteurs, on ne peut guère abaisser la consommation moyenne de 3,5 par bougie décimale [1], car dans ces conditions une variation de 10 p. 100 sur le voltage suffit à faire passer l'intensité d'une lampe de 16 bougies de 10 bougies à 20 bougies et le rendement de 4 à 2,6 ; une lampe plus poussée normalement est donc rapidement détruite. Les lampes ordinaires elles-mêmes baissent rapidement d'intensité sur les secteurs.

Aussi n'a-t-on pu tirer parti jusqu'ici de lampes plus poussées, bien qu'on en connaisse les avantages théoriques et que plusieurs fabricants essaient d'en mettre sur le marché.

Une solution nouvelle, imaginée par M. Weissmann avec la collaboration de l'auteur, permet d'accroître le rendement par un artifice en abaissant préalablement la tension à 15 ou 22 volts pour pouvoir employer des lampes spéciales de basse tension ; les gros filaments de ces lampes, grâce à leur solidité mécanique et à leur revêtement épais de graphite, peuvent être poussés plus haut que les autres et leur masse fait un volant de chaleur qui réduit les effets des variations de voltage. Ces lampes et les petits transformateurs individuels qui les alimentent réalisent ainsi des consommations de 2,5 watts par bougie sans perdre plus de 25 p. 100 en cent heures. Au prix ordinaire de l'énergie sur les réseaux l'économie de 1/2 ou de 1/3 réalisée sur l'énergie est assez considérable relativement à la petite dépense supplémentaire des renouvellements [2]. La lumière est beaucoup plus blanche. Enfin, par ce moyen, on peut employer avec un bon rendement des lampes de 1 à 2 bougies, irréalisables sous les tensions usuelles.

Filaments à haute tension. — La tension normale de 100 à 120 volts a été longtemps considérée comme un maximum pratique pour les filaments en carbone. Mais depuis quelques années il s'est fait une active propagande, surtout en Angleterre, pour l'emploi d'une tension double, 220 volts, en vue d'accroître la capacité de distribution des réseaux existants qui jouent un rôle prépondérant dans les frais d'établissement d'une distribution urbaine.

Plusieurs stations allemandes, et quelques-unes en France (Amiens, etc.), ont essayé cette solution. Les fabricants ont été amenés ainsi à faire des lampes doubles ou à double filament, puis des lampes à un seul filament très fin à plusieurs boucles fonctionnant directement sur 220 volts. Le succès ainsi obtenu reste cependant discutable, car bien que le revêtement graphitique (dont l'épaisseur ne peut descendre au-dessous d'un certain minimum) soit, relativement à l'âme amorphe, plus épais que dans les lampes à 110 volts, ces filaments, très ténus et très longs, sont mécaniquement peu solides, ce qui ne permet pas d'élever leur température aussi haut qu'il serait désirable pour un bon rendement ; le fait même que leur résistivité est plus faible que celle des filaments plus gros exagère encore leur longueur et nécessite, par conséquent, des ancrages qui constituent des points faibles ; ils résistent moins bien aux variations de voltage faute de masse suffisante ; enfin leur fabrication est plus difficile.

Aussi, malgré les efforts de nombreux constructeurs et les essais tentés en vue de réduire l'épaisseur du revêtement ou même de la supprimer complètement, les lampes à 220 volts sont-elles inférieures comme durée et comme rendement aux lampes de même puissance à 110 volts, et équivalentes plutôt à des lampes de puissance moitié moindre (par exemple, au lieu de 50 à 55 watts, une lampe de 16 bougies sous 220 en consomme 65 à 80 watts, voire même 90) ; en outre, la consommation spécifique croît très vite avec le temps ; enfin, il est difficile de réaliser des lampes à 220 volts de faible intensité, et l'on ne peut guère descendre au-dessous de 16 bougies.

---

(1) Il convient de ne pas oublier que la bougie Hefner n'est que les 0,88 de la bougie décimale, d'après les récentes mesures de M. Laporte, et que les lampes allemandes *paraissent* ainsi avoir un meilleur rendement que les autres.

(2) L'économie sur une lampe de 16 bougies pendant cent heures serait, d'après M. Weissmann, au moins de 15 à 20 hectowatts-heures, ou 1,50 fr à 2 fr au prix de 0,10 fr l'hectowatt-heure, tandis que les lampes ne coûtent que 0,50 fr à 0,60 fr.

La vraie solution de ces lampes, et *a fortiori* des lampes à 500 volts, dont la création serait fort désirable, paraît donc devoir être cherchée plutôt dans l'emploi de filaments de plus grande résistivité électrique que le filament de carbone ordinaire.

Filaments en matières autres que le carbone. — Les inconvénients des filaments de carbone sont leur volatilisation trop facile et leur trop grande conductibilité spécifique. De nombreux chercheurs ont donc été amenés à essayer d'autres substances réfractaires simples présentant une résistance analogue, mais supérieure à celle du carbone. On a essayé notamment les carbures de bore, d'aluminium, de silicium (*carborundum*), etc. Ce dernier corps, le carborundum, a pu être obtenu en filaments élastiques et homogènes, mais le noircissement de l'ampoule était extrêmement rapide et accompagné fréquemment de rupture aux attaches ; le carbure de calcium a donné d'un peu meilleurs résultats ; ces carbures semblent devoir être plus volatils que le carbone ou être décomposés par le passage du courant.

Le même inconvénient se présente encore pour les mélanges de poudre de carbone avec d'autres corps tels qne le bore, le silicium, des oxydes réfractaires, etc. Langhaus a essayé sans succès de recouvrir une âme d'oxydes d'un dépôt de bore ou de silicium par nourrissage.

Les deux seuls procédés de ce genre qui paraissent employés actuellement dans l'industrie sont dus à Langhaus et à Maxim. Le premier (filament *Premier*) consiste dans un filament de cellulose dissoute, filé sous pression avec addition de poudre de bore ou silicium, puis calciné au four électrique. Le second filament (filament *Maxim*) consiste dans un filament formé d'un carbone en poudre cristallisé, très dur, réfractaire et très résistant électriquement, obtenu par un procédé de précipitation spécial, aggloméré par du goudron puis filé à la presse. D'après les fabricants, ces lampes noircissent moins vite et donneraient une amélioration de rendement de 25 p. 100 environ. Ils sont encore trop récents pour qu'on puisse en parler avec plus de précision.

Il en est de même des filaments en osmium de M. Auër von Welsbach, dont on a beaucoup parlé depuis quelques mois, mais qui n'ont pas encore été présentés au public ; ces filaments s'obtiennent par divers procédés, notamment par nourrissage d'un fil de platine dans une atmosphère d'hydrocarbure, de vapeur d'eau et d'anhydride osmique ; le filament d'osmium débarrassé de son âme de platine par un coup de feu préalable, est placé dans le vide et porté à une température supérieure à celle des filaments de carbone, et réalise, paraît-il, un rendement double. Les inconvénients de ce produit semblent être le prix plus élevé de la fabrication et la trop grande conductibilité de la substance employée qui ne permet pas d'alimenter les lampes à plus de 20 ou 30 volts. Il en est de même des filaments, très réfractaires aussi, à base de tungstène, chrome, etc., proposés par d'autres inventeurs.

Filaments à base d'oxydes de terres rares. — Un second procédé tout différent, pour améliorer le rendement, consiste à employer comme corps incandescents les corps présentant une loi de radiation plus favorable que le carbone, en particulier les oxydes de terres rares déjà employés dans les manchons des brûleurs à incandescence par le gaz, grâce à la belle découverte de M. Auër von Welsbach. A ce point de vue il n'importe pas moins aux électriciens qu'aux gaziers de connaître les véritables causes du rendement remarquable de ces brûleurs. Certains auteurs ont invoqué un effet de luminescences (Nichol et Snow), un pouvoir émissif exceptionnel (John), d'autres (Bunte), une température très élevée de 2 000° et un effet catalyptique dû à la présence d'une petite quantité d'oxyde de cérium (1/2 à 1 p. 100) distribué à la surface de la carcasse d'oxyde de thorium ; mais, en réalité, et d'après les lois de Kirchhoff, les belles expériences de MM. Le Chatelier et Boudouard ont renversé toutes ces hypothèses et établi qu'il s'agit simplement de corps colorés ayant une loi de radiation plus favorable que les corps noirs à la même température (qui ne dépasse pas 1650°) ; grâce à un pouvoir émissif voisin de l'unité pour les radiations bleue, verte et jaune et bien plus faible pour les radiations rouges et calorifiques, l'énergie rayonnée par unité de surface est plus faible qu'avec le carbone, mais sa composition est meilleure. Il suffirait donc de porter par le courant électrique ces oxydes à la même température que les filaments actuels pour réaliser une grande amélioration de rendement. Aussi, de nombreux inventeurs ont-ils cherché à appliquer un revêtement de ces oxydes sur des âmes en car-

bone soit par application de pâte, soit par dépôt électrochimique (Langhaus), soit par application de tissu imprégné (Thowley), etc. Jusqu'ici ces procédés n'ont pas réussi à cause des différences du coefficient de dilatation et de la température excessive à laquelle l'âme devrait être portée. Pour obvier à cette dernière difficulté, d'autres inventeurs ont remplacé l'âme de carbone par un fil d'une spirale de métal très réfractaire (chrome, tungstène, platine, iridium, rhodium, etc.).

M. Auër von Welsbach, en particulier, a annoncé la réussite d'un filament en thorine (la plus réfractaire des terres rares) déposée par nourrissage sur un filament de platine ou d'osmium; la consommation dans une ampoule à vide s'abaisserait à 2 et même 1,5 watt par bougie, sans que l'âme fonde; les inconvénients seraient les mêmes que pour les filaments d'osmium du même inventeur.

Une autre catégorie de filaments qui a été également essayée par de nombreux expérimentateurs, dont l'auteur dès 1889, consiste dans un mélange d'oxydes et d'un corps conducteur (carbone ou métal réfractaire, tel que l'iridium, l'osmium, etc.) ajouté au moment du filage à la presse, ou déposé après coup par imprégnation et décomposition. Mais les mélanges à base de carbone se décomposent par réduction et à haute température; la stabilité des autres dans le vide n'est pas encore établie.

Jablochkoff en 1877 et Nernst en 1897 ont supprimé toute addition de ce genre, en utilisant la propriété, déjà indiquée par M. Le Roux, qu'ont les oxydes et corps analogues, que M. Nernst appelle *conducteurs de seconde espèce*, de devenir conducteurs à haute température. Dans la lampe exposée en 1881 par Jablochkoff, le filament était en kaolin, chaux ou magnésie, et le chauffage préalable obtenu par un brûleur ou une mèche conductrice en pâte de charbon. M. Nernst a imaginé l'allumage automatique par une spirale de platine voisine du filament, et l'emploi d'oxydes beaucoup plus conducteurs que tous ceux connus jusque-là, grâce au mélange de deux oxydes jouant les rôles de base et d'acide. Grâce à ces importants perfectionnements et à ceux apportés par la Compagnie *Allgemeine Electricitats Gesellschaft* dans la fabrication, le montage du filament, etc., la lampe Nernst paraît avoir été amenée à un point industriel; elle figure à l'Exposition et est, dit-on, déjà en usage sur le réseau d'éclairage de Göttingue, en Allemagne.

Grâce à la température assez élevée qu'elle atteint, et surtout aux propriétés de la radiation des oxydes, cette lampe réalise une belle lumière très blanche avec une consommation très faible (1,75 watt par bougie pour 25 bougies, 1 watt pour 100 bougies), malgré l'infériorité résultant de son emploi à l'air libre. La présence d'une atmosphère oxydante est, en effet, nécessaire pour retarder la décomposition du filament par électrolyse. La durée pratique n'est pas encore établie, mais on peut craindre que le filament déjà très poussé soit fragile et très sensible aux variations de voltage; on est en tout cas obligé d'ajouter en série une résistance à fort coefficient de température pour empêcher un trop rapide accroissement de courant quand le voltage augmente; jusqu'ici on n'a pu construire de lampes de moins de 25 bougies, ni de moins de 110 volts; mais il est très facile d'obtenir des lampes de 220 volts et même davantage, fonctionnant avec allumage à la main ou automatique.

Le résultat d'expériences officielles et d'essais de durée pratique sur les réseaux permettra seul d'apprécier l'avenir réservé à cette solution si séduisante à bien des égards; si elle tient toutes ses promesses, cet avenir sera des plus brillants et annulerait l'écart qui existe entre le prix de revient des éclairages au gaz et à l'électricité.

Étalonnage des lampes à incandescence. — Nous ne saurions quitter le sujet des lampes à incandescence sans dire un mot de leur étalonnage, car il serait fort opportun d'arriver à un accord international sur ce sujet.

On a vu déjà plus haut que l'adoption d'unités différentes (en France, la *bougie décimale*, en Allemagne et en Amérique, la *Hefner*, qui n'en est que les 88/100) crée un avantage apparent aux lampes étrangères sur les lampes françaises.

Il n'y a pas moins de désaccord sur la définition de la puissance lumineuse des lampes et la façon de la mesurer.

En France, jusqu'ici, on prend l'intensité horizontale dans une direction perpendiculaire au

plan moyen du fer à cheval ou de la boucle. Mais, à l'étranger, on déclare que les essais, pour être utiles, doivent comprendre la mesure de la puissance lumineuse dans plusieurs directions. D'après une récente décision de l'*American Institute*, ni la moyenne horizontale, ni la moyenne sphérique, ni la puissance lumineuse dans une direction quelconque ne définissent une lampe suffisamment pour prouver qu'elle est conforme au modèle étalon, et un récent règlement de cette Association exige que les lampes à incandescence soient conformes à la fois à une valeur étalon pour la puissance lumineuse moyenne normale et à une moyenne sphérique mesurée lorsque la lampe tourne à une vitesse très lente, avec son axe incliné à 45°. Il recommande que les limites pour la première moyenne soit de 15 bougies au minimum et de 17,5 bougies au maximum. (Si le minimum était plus bas, il y aurait certainement tendance à produire les lampes voisines de ce minimum.) La puissance à 45° doit être égale à au moins 85 p. 100 du minimum.

De même, en Allemagne la question de l'étalonnage a été traitée récemment par une Commission de l'Association électrotechnique de Berlin qui a fixé des règles uniformes pour les lampes normales de 10, 16, 25 et 32 hefners consommant 3 à 4 watts par hefner aux tensions de 60 à 70 volts et 95 à 125 volts.

Les lampes doivent porter l'indication de la puissance et du voltage correspondant avec une tolérance de 2 p. 100 à la livraison. Aux essais de réception, la tolérance est de 6 p. 100 en dessus ou en dessous pour la puissance lumineuse aussi bien que pour la consommation. Quand plus d'un quart des lampes sort de ces limites la fourniture peut être refusée. La durée de service utile est définie, la durée après laquelle l'intensité lumineuse est tombée de 20 p. 100 ; elle doit être indiquée par le fabricant.

Les essais doivent avoir lieu dans le mois de l'envoi et à condition que 2 p. 100 de la fourniture et en tout cas au moins 20 lampes soient fournis à cet effet. En cas de désaccord sur le laboratoire de contrôle ; les parties s'en rapportent à l'Institut physicotechnique. On recommande l'emploi de la monture Edison.

En ce qui concerne les essais photométriques l'Association allemande a borné son étude au cas des lampes en fer à cheval, ou boucle simple. Après avoir déclaré (à tort, croyons-nous) qu'il n'était pas possible de mesurer commodément le flux lumineux total, elle a adopté une singulière disposition photométrique qui consiste à placer la lampe au milieu de deux miroirs de 13 cm de côté et de 2 mm à 5 mm d'épaisseur ayant leur bissextrice dirigée vers l'écran du photomètre ; l'axe de la lampe est à 9 cm de l'arête du dièdre ainsi formé ; cet axe doit être vertical et les points d'attache des filaments dirigés dans le plan perpendiculaire au banc photométrique. Celui-ci est un banc ordinaire de 2,50 m portant directement une graduation en bougies et dixièmes de bougie.

Toute lumière étrangère doit être évitée par des écrans de velours. Une source auxiliaire, placée à 60 cm environ, doit être une bonne lampe de 10 bougies ayant déjà brûlé vingt à trente heures. On opère par doubles pesées en remplaçant la lampe à étudier par l'étalon et en réglant en conséquence la distance de la source auxiliaire au photomètre dont on la rend ensuite solidaire. Comme étalon on emploie des lampes d'à peu près mêmes intensités et tensions que la lampe à étudier et consommant 3,5 à 4,5 watts par hefner.

Les avantages d'employer comme étalon secondaire une lampe à incandescence analogue à celles à étudier sont bien connus en France, où le mode opératoire est analogue, sauf en ce qui concerne l'emploi du miroir.

On ne saurait dissimuler que toutes ces règles sont tout à fait arbitraires et n'ont rien de satisfaisant pour l'esprit, sauf la règle française, qui, comme a montré en 1889 M. Potier, peut donner une évaluation du flux, si l'on a affaire à des filaments de gros diamètres (on a vu plus haut que cette règle est en défaut pour les filaments minces ordinaires).

Il n'y a en réalité qu'une façon rationnelle de photométrer les lampes à incandescence, surtout maintenant qu'on rencontre des formes très variées et pas du tout comparables entre elles (ainsi la lampe Nernst) ; c'est de mesurer leur flux total. L'auteur a indiqué dans ce but une méthode qui consiste à faire tourner la lampe très vite sur elle-même autour de l'axe d'un lumenmètre ; tout

dernièrement, M. Ulbricht a indiqué un autre dispositif de lumenmètre encore plus simple, qui consiste dans une sphère parfaitement blanchie intérieurement ; l'éclat intrinsèque est le même sur toute la surface intérieure et donne par proportionnalité une mesure du flux lumineux de la lampe qu'on y enferme.

Le moment paraît donc venu d'exiger, au moins pour les mesures de précision ou les expériences de comparaison un peu complexes, la définition des lampes par leur flux lumineux total, en même temps que par leur voltage.

Quant à la règle à adopter pour fixer la durée utile, on est à peu près d'accord pour la définir, en France comme en Allemagne, par une baisse de 20 p. 100 sous potentiel constant. On pourrait en faire la base d'un accord international.

La tolérance à faire sur le voltage et l'intensité lumineuse lors de la réception paraît devoir être laissée, au contraire, en dehors de cet accord, et au gré des cahiers des charges des diverses entreprises d'éclairage.

On signale à ce propos la méthode qui s'introduit depuis quelque temps en Amérique, en Angleterre et en Allemagne, de laisser aux Compagnies d'éclairage le soin de fournir et remplacer les lampes à forfait ; cela ne constitue qu'une charge très faible pour ces Compagnies, et leur permet de réaliser des économies d'énergie et de supprimer pour l'abonné l'ennui de s'approvisionner, souvent fort mal.

Conclusions. — Nous espérons avoir montré, par cet exposé rapide, que de sérieux progrès ont été réalisés ou sont à la veille de l'être.

Nous avons aussi cherché à faire ressortir l'intérêt capital qu'il y aurait, pour uniformiser les mesures de puissance lumineuse et de rendement, à faire voter par le Congrès un vœu recommandant la vulgarisation des mesures directes du flux lumineux total et l'adoption provisoire d'un étalon de lumière médiocre commun aux divers pays jusqu'à la réalisation d'un étalon pratique parfait.

ÉTAT ACTUEL ET PROGRÈS DE LA TÉLÉGRAPHIE SANS FIL PAR ONDES HERTZIENNES

Par André Blondel, Ingénieur des Ponts et Chaussées et Gustave Ferrié, Capitaine du Génie.

I. Historique. — Dans ce Rapport, nous désignerons sous le nom de *Télégraphie sans fil* la transmission des signaux par ondes hertziennes, sans l'intermédiaire de fils conducteurs réunissant les deux postes correspondants [1].

On avait déjà cherché, presque dès l'apparition de la Télégraphie ordinaire, à utiliser diverses formes de l'énergie électrique pour obtenir des communications sans fil [2]. Mais, les systèmes essayés n'ayant pas donné des résultats réellement pratiques, nous ne les décrirons point, et nous mentionnerons seulement le système Edison [3], qui offrait beaucoup de ressemblance avec la télégraphie sans fil actuelle, avec la différence qu'il n'employait pas d'oscillations de hautes fréquences [4]. Ce même système fut repris quelques années plus tard par Narkevisch Jodko.

---

[1] Nous ne traiterons donc pas des ingénieux systèmes de télégraphie par induction à basse fréquence de MM. Preece, Evershed, Lodge, etc., qui ont été décrits avec détails par leurs auteurs dans le *Journal of the Institution of Electrical Engineers*, n° de février 1899.

[2] Voir, pour plus de détails historiques et descriptifs, les Notices de M. Banti (*L'Eletricità*, 1897), de M. Della Riccia (*Bulletin de l'Institut Montfiore*, 1898), de M. Voisenat (*Annales télégraphiques*, mars 1898 ; *L'Éclairage Électrique*, 8 et 15 avril 1899), de MM. Boulanger et Ferrié (*Revue du Génie militaire*, 1899), de M. Broca (*Télégraphie sans fil*, Gauthier-Villars, 1900).

[3] Patente américaine 465971, du 14 mai 1885.

[4] Le poste transmetteur se composait d'une forte bobine d'induction dans le primaire de laquelle était intercalée une pile avec une clé Morse, et dont le secondaire était relié d'une part à la terre et d'autre part à une antenne aboutissant à une large surface métallique. Le poste récepteur comprenait une antenne et une plaque semblable reliées à la terre par un téléphone.

Le circuit secondaire de la bobine d'induction était ainsi fermé par la terre, le téléphone et le condensateur de

En 1888, Hertz exécuta ses fameuses expériences destinées à vérifier la savante théorie de Maxwell et mit en évidence la propagation des ondes électromagnétiques. Mais l'absence d'un détecteur sensible ne permettait pas de songer encore à utiliser ces ondes, concurremment aux ondes lumineuses, pour des communications télégraphiques à grande distance.

Ce n'est qu'après les ingénieux travaux [1] de notre compatriote M. Branly, commencés en 1890, sur les propriétés des corps conducteurs en contact imparfait (déjà signalés sous une autre forme par une Note alors inaperçue de M. Calzecchi Onesti), soumis à l'action immédiate ou à distance de décharges électriques, que l'on disposa de moyens appropriés pour déceler les ondes électriques. Nous renvoyons pour le détail et les conclusions de ces travaux au Rapport spécial qui sera présenté au Congrès par leur auteur.

M. Branly constata, en particulier, que les limailles métalliques enfermées dans un tube isolant, entre deux électrodes également métalliques, offrant dans certains cas une résistance ohmique atteignant parfois plusieurs mégohms, voient leur résistance s'apaiser brusquement lorsqu'on les soumet à l'action d'une décharge ou au voisinage d'une étincelle. La conductibilité ainsi acquise par la limaille persiste longtemps, mais est détruite par le moindre choc.

Dès 1893, M. Lodge utilisa les propriétés de ces tubes radioconducteurs de Branly, qu'il appela *cohéreurs*, pour l'étude des ondes hertziennes. Il employait à cet effet un dispositif comprenant un cohéreur, une pile et un galvanomètre. Pour détruire la conductibilité de la limaille, il provoquait généralement l'ébranlement du tube au moyen d'un mouvement d'horlogerie.

La présence d'ondes put être ainsi décelée à 40 m de leur point de production. Dans une conférence faite à Oxford en 1894, à la réunion de l'Association Britannique, M. Lodge émit l'opinion que le tube de Branly ne cessait d'être influencé qu'à la distance d'un demi-mille. Aucun essai ne fut d'ailleurs tenté par lui pour corroborer cette opinion.

Un certain nombre de physiciens de tous pays répétèrent les mêmes expériences au moyen de dispositifs plus ou moins analogues à celui de M. Lodge. M. Popoff, en particulier, le perfectionna en le rendant automatique par l'addition d'un relais actionné par le courant passant dans le tube et qui mettait en action une sonnerie placée en dérivation aux bornes de la pile [2]. Le marteau de la sonnerie était disposé de façon à frapper le cohéreur et le ramener à l'état neutre à chacune de ses vibrations. L'inscription graphique des signaux était donnée par un enregistreur Richard monté en dérivation sur la sonnerie. Pour éviter au cohéreur les effets des ondes parasites produites par les étincelles de rupture de la sonnerie et du relais, on l'entourait d'une double enveloppe métallique munie d'une fente étroite pour le passage des ondes à étudier.

A cette époque, M. Popoff n'utilisa ce dispositif que pour l'enregistrement des décharges de la foudre et vérifia qu'elles étaient oscillantes, d'après les idées de Lodge. Il reliait pour cela l'une des bornes de son récepteur à la tige d'un paratonnerre ou simplement à un fil vertical placé le long d'un mât, l'autre borne du récepteur étant mise à la terre. Il annonça que cet appareil pourrait aussi bien enregistrer les signaux émis par un oscillateur assez puissant.

C'est à M. Marconi, alors étudiant à l'Université de Bologne, qu'appartint l'honneur de réaliser le premier cette expérience [3], grâce à l'emploi du récepteur à antenne, ou fil vertical, de Popoff, modifié comme on le verra ci-après, pour la réception des signaux télégraphiques Morse, et à la réalisation du producteur d'ondes le plus convenable sous forme d'une seconde antenne reliée à

---

très faible capacité formé par les deux surfaces métalliques; les contacts plus ou moins prolongés de la clé Morse, placée dans le primaire de la bobine, se traduisaient dans le téléphone par des sons de même durée.

Les expériences faites ne donnèrent pas de résultats bien satisfaisants et aucune installation pratique du système ne fut réalisée.

[1] Cf. *Lumière électrique*, mai et juin 1891. M. Branly a complété cette étude depuis 1897 dans un grand nombre de communications intéressantes (*Comptes rendus*, 1897, 1898, 1899, 1900), que nous ne pouvons analyser ici.

[2] *Journal de la Société physique et chimique russe*, 1er trimestre 1895, et *Elektritehestvo*, octobre 1895.

[3] Le premier brevet de M. Marconi est de juin 1895. Il est vraisemblable que l'inventeur ne connaissait pas les publications de Popoff.

un oscillateur mis d'autre part à la terre. Les deux antennes mises à la terre, qui constituent au fond un élément essentiel des deux postes, comme dans le système d'Edison, n'étaient pas encore à cette époque considérées comme indispensables, et l'ingénieux expérimentateur préconisait concurremment l'emploi de réflecteurs entourant l'oscillateur et le cohéreur. En même temps le jeune inventeur apportait de grands perfectionnements pratiques aux cohéreurs.

Nous nous bornerons à décrire sommairement ses installations actuelles en nous réservant de discuter dans une autre partie les différents organes d'une station.

Un poste transmetteur se compose d'une bobine d'induction dans le primaire de laquelle sont intercalés une source d'énergie (généralement piles et accumulateurs), une clé Morse et un interrupteur à marteau. Les extrémités du secondaire sont reliées à deux sphères métalliques formant l'oscillateur et communiquant elles-mêmes, l'une avec l'antenne, l'autre avec la terre. Chaque fermeture du circuit au moyen de la clé Morse est accompagnée de la production d'étincelles oscillantes entre les sphères de l'oscillateur et donne lieu, comme on l'expliquera plus loin, à l'émission d'ondes hertziennes dans l'espace autour de l'antenne.

Un poste récepteur se compose essentiellement d'un cohéreur dont les électrodes sont reliées, pendant la réception, d'une part à l'antenne et à la terre, et d'autre part aux extrémités d'un circuit contenant un élément de pile et un relais. Le contact de ce relais commande deux autres circuits locaux comprenant, dans une partie commune, une pile et le contact du relais, puis, respectivement, l'un un trembleur destiné à décohérer le tube, et l'autre un appareil Morse.

Lorsque les ondes, recueillies par l'antenne, agissent sur le cohéreur, celui-ci est rendu conducteur. Le circuit dérivé contenant les bobines du relais est alors fermé, et la palette attirée ferme les circuits du frappeur et du morse. Le marteau du frappeur entre en vibration contre le tube et le décohère; le courant cesse de passer dans les bobines du relais et la palette revenant au repos rouvre les circuits du morse et du frappeur. Les mêmes faits se reproduisent pendant tout le temps que des ondes parviennent à l'antenne.

Si le transmetteur émet une longue série d'ondes, cette série sera traduite sur la bande du morse par une série de points que l'on peut transformer facilement en un trait par des artifices de construction ou par l'emploi d'un second relais, comme l'a proposé M. Strecker.

M. Marconi s'est attaché à supprimer d'une façon aussi complète que possible toutes les ondes parasites provenant d'étincelles de ruptures et pouvant agir sur le cohéreur. Il a placé dans ce but des shunts sans self-induction en dérivation de part et d'autre de tous les points où se produisent les ruptures de circuit et sur toutes les bobines pouvant être le siège de force électromotrice de self-induction. Les bobines du relais en particulier ont été shuntées pour éviter la réexcitation du cohéreur sous l'effet des étincelles de ruptures qui se produisent dans la limaille au moment du choc du marteau.

En outre, pour éviter que les ondes émises par l'antenne ne suivent en partie le circuit dérivé contenant le relais, et évitent ainsi le cohéreur, M. Marconi a intercalé dans ce circuit, de part et d'autre du cohéreur, deux bobines présentant une assez grande self-induction et s'opposant par leur impédance au passage des ondes.

Enfin, plus récemment, M. Marconi est parvenu à réaliser un petit transformateur élévateur de tension, qu'il appelle *jigger*, destiné à augmenter l'effet des oscillations recueillies par l'antenne réceptrice en augmentant la force électromotrice induite qui agit sur le cohéreur. Nous reviendrons plus loin sur cet appareil.

Pour éviter que les oscillations produites par la transmission dans une station n'agissent sur le cohéreur trop énergiquement et ne le mettent rapidement hors de service, M. Marconi enferme tous les appareils du poste récepteur dans une boîte métallique, à l'exception du morse, dont les fils de connexion avec les autres appareils traversent, à leur entrée dans la boîte, des bobines d'impédance enroulées avec interpositions de bandes d'étain mises à la terre.

Les premières expériences eurent un grand retentissement, et un grand nombre d'expérimentateurs et de physiciens de tous pays les répétèrent avec plus ou moins de succès, pendant que M. Marconi continuait à rechercher des perfectionnements et des applications commerciales du système.

Il convient de citer, par exemple, les expériences de MM. Slaby et Strecker en Allemagne, de MM. Voisenat et Tissot en France, de MM. Popoff et Ducretet en Russie, etc. Divers perfectionnements ont été apportés aux appareils qui seront examinés plus loin.

Ces nombreuses études n'ont pas encore permis de faire une théorie complète et vérifiée des phénomènes utilisés par la Télégraphie sans fil. Cependant on peut en déduire un certain nombre de faits permettant d'esquisser une théorie vraisemblable suffisante pour guider provisoirement les recherches.

II. Résultats, portées réalisées, lois des antennes. — Les résultats obtenus jusqu'à ce jour, tant par M. Marconi que par les autres expérimentateurs, mettent en évidence les faits suivants :

La qualité des communications est sensiblement la même, quel que soit le temps, par le brouillard, la pluie, le vent, etc.; mais il est très notablement plus facile d'établir une correspondance entre deux stations séparées par la mer ou un lac qu'entre deux stations situées dans l'intérieur des terres. Nous avons observé que l'humidité du sol joue en petit le même rôle, car la sécheresse gêne les communications. Les hauteurs d'antennes nécessaires sur terre sont toujours bien supérieures à celles qui suffisent sur mer pour communiquer à la même distance. Il est possible, souvent, de mettre en relation deux stations séparées par des obstacles matériels assez élevés, mais on doit tenir compte du fait que les ondes contournent généralement ces obstacles par les côtés.

Nous donnons ci-après les résultats des expériences des plus intéressantes d'après diverses publications.

Tout d'abord en mer :

En 1897, des navires de guerre italiens munis d'appareils Marconi purent communiquer avec la côte jusqu'à une distance de 16 km avec des antennes de 22 m et 34 m.

En août 1898, le yacht royal l'*Osborne* put correspondre au moyen d'appareils analogues avec une station de la côte anglaise à 13,500 km, malgré l'interposition d'une haute colline.

En 1899, une communication provisoire fut établie à travers la Manche, entre Douvres et Boulogne, à 46 km, avec des antennes de 37 m.

Un navire en marche put également communiquer avec la côte à 52 km, avec 31 m et 37 m d'antennes en espace découvert, et à 19 km avec 22 m et 45 m d'antennes avec interposition du cap Gris-Nez, d'environ 100 m de hauteur.

En juillet de la même année, deux navires de guerre anglais échangèrent des télégrammes en pleine mer à 112 km avec des antennes de 53 m et 60 m.

En 1900, M. Marconi aurait pu établir une communication entre deux stations distantes de 136 km avec 45 m seulement d'antenne. La ligne droite joignant les extrémités supérieures des deux antennes passait à 300 m au-dessous du niveau de la mer.

En France, M. Tissot, employant un matériel construit par M. Ducretet d'après ses indications et celles de M. Popoff, a pu communiquer en mer à 61 km avec des antennes de 30 m, et M. Popoff, en Russie, à 56 km.

Les expériences faites à l'intérieur des terres sont moins brillantes. On a dû recourir, dans la plupart des cas, à des ballons captifs ou des cerfs-volants pour obtenir des antennes suffisamment élevées.

En 1897, M. Slaby put recevoir des signaux à 21 km avec des antennes de 300 m supportées par des ballons captifs.

En 1898, M. Voisenat obtint de bons résultats à 10 km avec des antennes de 40 m.

En 1899, M. Marconi, avec le concours des capitaines Bret et Kennedy, put communiquer à 54 km entre Salisbury et Bath au moyen d'antennes très élevées maintenues par des cerfs-volants. Il ne semble pas cependant qu'au Transvaal, malgré l'annonce des premiers résultats, on ait pu tirer parmi des appareils de télégraphie sans fil, qui avaient été envoyés, pour les opérations militaires.

Enfin, des essais ont été faits dans des circonstances spéciales par M. M. Lecarme : en mon-

tagne, entre le mont Blanc et Chamonix (1899), la communication fut très régulière, malgré la nature rocheuse du sol et le manque de conductibilité de la glace qui le recouvre. En ballon libre, les résultats furent également intéressants : des signaux purent être reçus dans le ballon alors que l'antenne réceptrice (50 m) était parallèle à l'antenne d'émission (40 m) et à une grande hauteur. On put aussi communiquer à une distance de 8 km et à une hauteur de 800 m.

Lois des antennes. — M. Marconi a déduit de ses nombreuses expériences en mer les lois suivantes, qui ont été vérifiées aussi par M. Gavey, ingénieur du Post-Office.

1° Pour obtenir le maximum d'effet utile, les antennes des deux stations doivent être égales et parallèles ;

2° La hauteur des antennes nécessaires pour une bonne communication est liée à la distance qui sépare les deux stations par la formule $H = \alpha \sqrt{D}$, α étant un coefficient dépendant des moyens et des appareils employés.

La distance donnée par cette formule pour une hauteur d'antenne déterminée en espace découvert est diminuée au moins de moitié lorsque les deux stations sont séparées par des obstacles matériels élevés.

Il nous a été possible de vérifier approximativement l'exactitude de cette loi dans les communications entre deux stations dans les environs de Paris pour des distances ne dépassant pas jusqu'à ce jour 13,500 km.

Il nous a fallu 12 m d'antenne pour 3 km, 18 m pour 9,500 km et 24 m pour 13,500 km [1].

L'avantage d'avoir des antennes égales a paru assez faible, et les résultats étaient à peu près identiques lorsqu'on faisait varier simultanément les hauteurs de deux antennes en maintenant leur somme constante. Cependant il y a une limite inférieure qu'on ne peut réduire ; elle nous a paru être comprise entre 5 m et 10 m pour les distances indiquées ci-dessus.

La loi devrait donc être complétée sous la forme suivante :

$$h_t + h_r = 2H \quad \text{avec } h_t \text{ et } h_r > \lambda,$$
$$H = \alpha\sqrt{D}.$$

(*A suivre*).

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

Étincelle de rupture dans un circuit à courant alternatif, entre les électrodes de métal, particulièrement de mercure, par **L. Kallir.** *Drude's Annalen*, t. II, p. 250-266, juin 1900.

Les caractères de l'étincelle de rupture varient beaucoup avec les conditions dans lesquelles elle se produit. Même en se plaçant dans des conditions bien déterminées, on ne peut guère prévoir quelle sera la nature de l'étincelle sur laquelle influent nombre de circonstances encore mal définies.

M. Kallir a photographié sur une plaque mobile l'étincelle de rupture dans un circuit parcouru par un courant alternatif et en comparant un grand nombre de clichés a pu tirer quelques conclusions générales.

L'étincelle se produit entre une tige de platine ou de cuivre et un bain de mercure. Le mercure est contenu dans un vase muni d'un robinet d'écoulement : le jeu de ce robinet permet de régler la vitesse avec laquelle le niveau du mercure s'abaisse et de faire varier par conséquent la vitesse de l'interruption. Ces deux vitesses ne sont pas égales d'ailleurs, à cause des phénomènes de capillarité qui se produisent entre la tige et le mercure.

Dans d'autres expériences, la rupture avait lieu entre deux colonnes de mercure.

Dans l'air à la pression atmosphérique, l'étincelle de rupture n'a en général que la durée d'une demi-période du courant alternatif. Mais dans les circonstances qui favorisent la formation de l'arc : force électromotrice élevée, grande intensité, petite vitesse d'interruption, la durée de l'étincelle peut atteindre 9 à 11 demi-périodes. Mais l'étincelle n'est pas continue : elle se com-

pose d'ondes de courant de même direction et représente non pas un courant alternatif, mais un courant intermittent de sens constant.

Dans l'air raréfié, l'étincelle tend, toutes choses égales d'ailleurs, à se prolonger plus que dans l'air à la pression ordinaire. Le courant passe dans les deux sens.

La self-induction du circuit ne paraît pas exercer d'influence essentielle sur la nature de l'étincelle.

Il est possible que la différence entre l'étincelle dans l'air à la pression ordinaire et dans l'air raréfié tienne à l'action de l'oxygène. Par suite de l'oxydation, le métal qui pendant une demi-période était l'anode, ne peut devenir cathode dans la demi-période suivant immédiatement. Pour le vérifier, il faudrait étudier l'étincelle dans différents gaz, à des pressions variées.

M. L.

***Balance magnétique de précision*, par H. du Bois**. *Drude's Annalen*, t. II, p. 317-330, juin 1900.

Cet appareil a été décrit dans ce journal [1] parmi les instruments figurant à l'Exposition universelle.

Pour faire la théorie, on considère le circuit magnétique formé de huit parties :

1° L'échantillon à essayer ;

2° Les deux contacts sphériques ;

3° Les deux résistances d'épanouissement entre les parties rodées concaves et les surfaces de contact avec la face supérieure du socle ;

4° Les deux entrefers ;

5° L'armature supérieure servant de fléau.

Les résistances magnétiques de ces diverses portions ne peuvent être connues qu'approximativement.

Un étalonnage provisoire a été effectué par la méthode balistique : les lectures de l'échelle étaient proportionnelles à celles du galvanomètre pour des inductions magnétiques comprises entre 1 000 et 20 000 unités. Mais l'étalonnage définitif a été fait au moyen de barreaux types, dont des courbes d'aimantation avaient été déterminées par une méthode magnétostatique.

M. L.

[1] *L'Éclairage Électrique*, t. XXIII, p. 332, 1er septembre 1900.

***Dispersion rotatoire magnétique anomale* par A. Schmauss**. *Drudé's. Annalen*, t. II, p. 280-295, juin 1900.

Une dispersion rotatoire magnétique anomale a été signalée déjà à plusieurs reprises : par Becquerel dans l'oxygène, dans le fer, le nickel, le cobalt par Kundt, puis par du Bois et Labach.

Il faut rapprocher aussi de ces travaux les expériences de Macaluso et Corbino [1], d'après lesquelles la rotation magnétique à travers la vapeur de sodium très petite dans tout le reste du spectre, devient extrêmement grande au voisinage des raies D. A la suite de ces observations, Becquerel a démontré l'existence de la réfraction anomale dans la vapeur de sodium.

Schmauss a voulu démontrer que toute substance qui possède la réfraction anomale possède aussi le pouvoir rotatoire magnétique anomal.

La méthode de mesure qu'il a employée est, en principe, celle de Broch et de Wiedemann, comme en France sous le nom de méthode du spectre cannelé de Fizeau et Foucault. Pour obtenir des franges plus fines, il dispose entre les deux nicols une lame de gypse ayant sa section principale à 45° de celles des nicols : ce qui permet de réduire les erreurs de lecture à 0°,03.

Il a trouvé que dans tous les milieux à dispersion anomale, la variation du pouvoir rotatoire magnétique a la même allure que celle de l'indice de réfraction. Au voisinage des bandes d'absorption le pouvoir rotatoire croît rapidement et au delà de la bande retombe à une petite valeur pour croître de nouveau lentement. Dans la région d'absorption la courbe est continue et le point d'inflexion se trouve dans cette région.

L'anomalie est assez prononcée pour qu'elle puisse déceler une absorption qui ne serait pas appréciable à l'observation directe.

Dans les dissolutions de substances colorées, les anomalies croissent avec concentration, de même que les anomalies de réfraction.

Les susbtances fluorescentes ne possèdent pas à cet égard de propriétés particulières.

M. L.

[1] *L'Éclairage Électrique*, t. XII, p. 151.

Le Gérant : C. NAUD.

Tome XXIV. Samedi 29 Septembre 1900. 7e Année. — N° 39

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

EXPOSITION UNIVERSELLE

ALTERNATEUR DE 3 000 KILOWATTS DE L'ALLGEMEINE ELEKTRICITÆTS GESELLSCHAFT

L'alternateur de 3 000 kilovolts-ampères exposé par l'Allgemeine Elektricitæts Gesellschaft (Société générale d'Electricité, de Berlin) est une des plus puissantes dynamos à courants alternatifs triphasés [1].

A l'Exposition, cet alternateur n'a comme concurrent que celui de la Société Hélios dont la puissance apparente est également de 3 000 kilovolts-ampères mais qui, à cause du montage spécial de son induit, paraît avoir été étudié plutôt en vue d'une utilisation éventuelle en alternateur à courant alternatif simple.

L'alternateur de la Société générale d'Electricité de Berlin est destiné à l'une des stations centrales de la Berliner Elektricitæts Werke. Les deux stations d'Obersprée et de Moabit doivent contenir 22 machines identiques dont 8 sont actuellement en montage et 13 en construction.

Ces dynamos triphasées de 3 000 kilovolts-ampères sont actionnées directement par des moteurs à vapeur horizontaux à triple expansion et à quatre cylindres d'une puissance effective de 4 000 chevaux.

Au point de vue électrique, l'alternateur de la Société générale d'Electricité de Berlin est l'un des plus intéressants et l'un des mieux étudiés de l'Exposition.

Deux particularités principales sont à signaler dans cette machine.

[1] Il eût eu des chances d'être le plus puissant alternateur à courants triphasés du siècle, si la General Electric de New-York n'avait installé cette année des groupes triphasés de 3500 kilowatts pour le Métropolitain de New-York. Il est juste d'ajouter toutefois que ces derniers groupes sont destinés uniquement à alimenter des convertisseurs et sont à faible fréquence ; 25 périodes seulement par seconde.

Une de ces particularités est l'emploi des amortisseurs Hutin et Leblanc dont la Société générale d'Electricité est concessionnaire en Allemagne ainsi du reste que des autres brevets de nos savants compatriotes.

La seconde particularité est l'emploi de conducteurs au lieu de bobines comme cela a lieu sur la plupart des alternateurs à haute tension et avec un nombre d'encoches par pôle et par phase beaucoup plus grand que celui que l'on a l'habitude d'admettre dans les alternateurs à induit fixe.

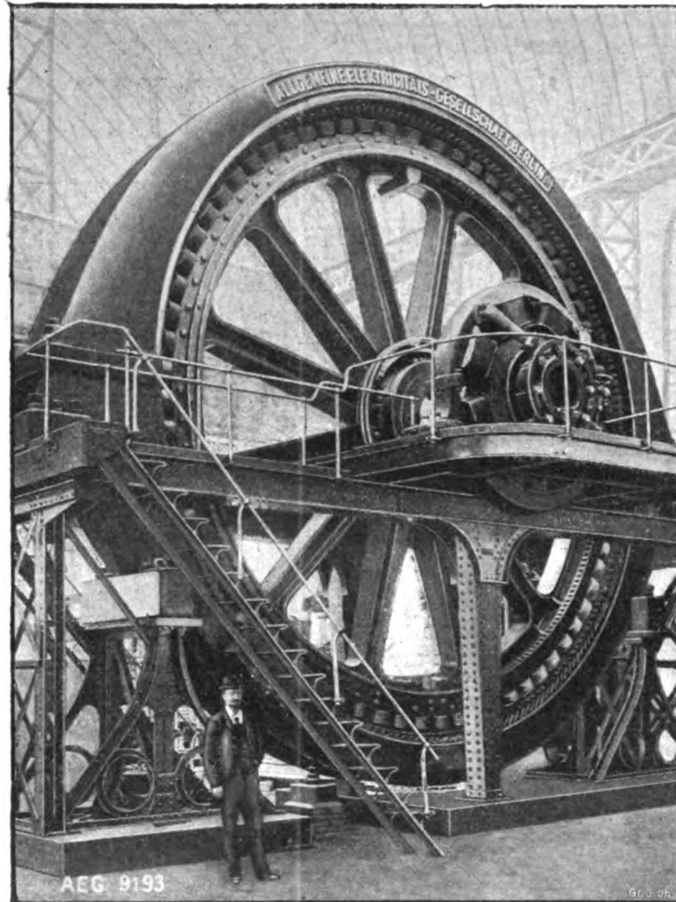


Fig. 1. — Alternateur de 3000 kilovolts-ampères sous 6000 volts de l'Allgemeine Elektricitæts Gesellschaft.

L'emploi d'un nombre suffisant d'encoches par phase et par pôle a pour effet de réduire considérablement la dispersion magnétique de l'induit, dispersion qui intervient pour beaucoup dans la chute de tension des alternateurs, surtout lorsque le facteur de puissance est assez faible et dont l'effet est généralement plus important dans la plupart des alternateurs que celui des contre-ampère-tours de l'induit.

Ce dispositif est en somme emprunté aux propriétés des moteurs d'induction.

La puissance normale du groupe est de 3000 kilovolts-ampères avec un facteur de puissance de 0,9, la puissance vraie est donc au minimum de 2 700 kilowatts.

La tension aux bornes est de 6 000 volts et l'induit est groupé en étoile. La tension par phase est par suite de 3 465 volts et l'intensité du courant de débit en pleine charge de 3 000 kilovolts-ampères de 290 ampères.

La vitesse angulaire est de 83 tours par minute et le nombre de pôles inducteurs de 72 ; ce qui correspond à une fréquence de 50 périodes par seconde.

Ces considérations posées, nous allons donner successivement la description de l'induit et de l'inducteur qui présentent quelques dispositions mécaniques dignes d'être signalées. Nous donnerons ensuite quelques détails sur le montage qui a été particulièrement difficultueux non seulement en raison de l'importance des pièces à manœuvrer, mais surtout par suite de l'absence de pont roulant dans l'annexe de la section allemande où l'alternateur se trouve exposé.

La figure 1 reproduit une photographie de l'alternateur. Les figures 2 et 3 sont des vues d'ensemble de la même machine.

Induit. — La carcasse extérieure de l'induit est en quatre parties assemblées par des

boulons. Cette carcasse a une section étudiée spécialement pour donner une rigidité parfaite à l'ensemble. Intérieurement, elle porte trois anneaux : deux venus de fonte avec elle et un troisième, rapporté, formé d'un certain nombre de segments.

C'est entre l'anneau fixe q_1, qui porte un certain nombre d'encoches, 120, de façon à en diminuer le poids sans nuire à sa solidité, et les segments amovibles que sont serrées les tôles de l'induit (figures 4 et 5) à l'aide de deux boulons *b*, *b* par pôle. Les tôles induites sont partagées en deux parties *m*, *n*, séparées par un intervalle de quelques centimètres dans lequel sont logés des segments en acier fixés à la nervure centrale. Ces segments ne sont pas pleins, mais portent des rainures très profondes débouchant en dehors des paquets

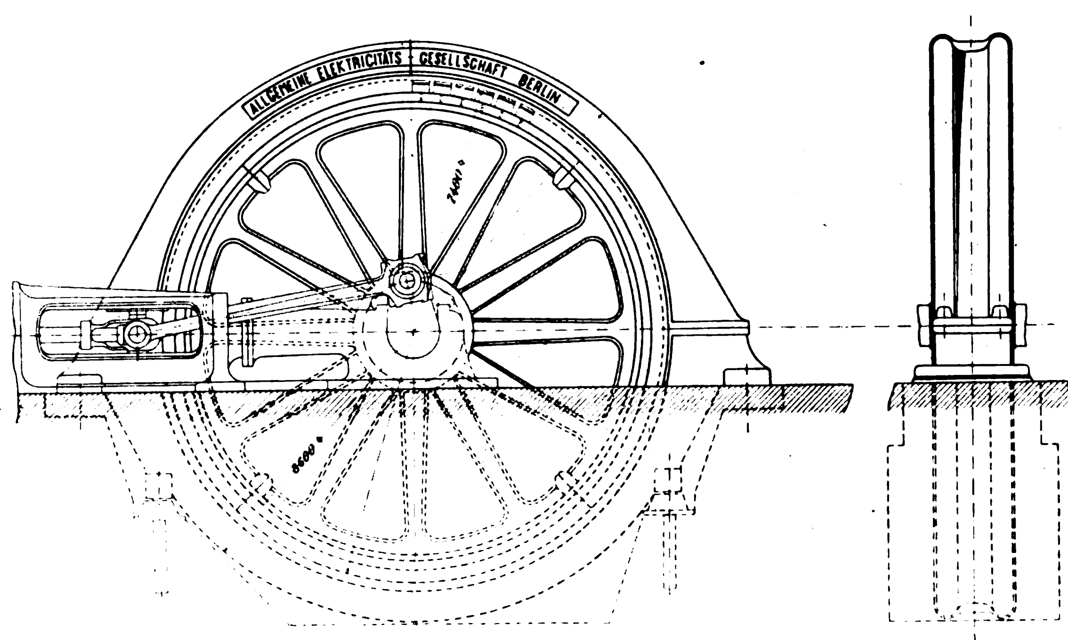


Fig. 2 et 3. — Ensemble de l'alternateur de 3000 kilovolts-ampères.

de tôles de façon à assurer une bonne ventilation de celle-ci. Chacune des piles de tôles induites sont elles-mêmes subdivisées en quatre paquets séparés entre eux par des pièces métalliques assez étroites placées de distance en distance et maintenues par un bossage entrant dans les trous percés dans les tôles.

Les joints magnétiques de l'induit ont été effectués de façon à éviter leur influence sur une seule bobine induite.

A cet effet les tôles ont été disposées de façon à croiser les joints et on a placé seulement au moment de l'assemblage les petits paquets de tôles passant à travers les joints de la carcasse.

Les segments amovibles q_2 sont fixés par des vis à la carcasse de l'induit.

Des ouvertures *o* sont ménagées dans la nervure fixe et dans la partie inférieure de la carcasse de façon à augmenter la ventilation de l'induit.

L'induit repose sur un ensemble de deux tréteaux réunis par deux poutres horizontales supportant elles-mêmes l'inducteur et un plancher avec garde-corps pour la visite de la machine.

La carcasse induite repose sur son support par l'intermédiaire de deux projections venues de fonte avec les quarts d'induit inférieurs.

Le réglage en hauteur peut se faire à l'aide de vis calantes.

Des vis de butée placées horizontalement permettent de régler l'entrefer dans le sens horizontal.

En dehors des supports proprement dits, la partie inférieure est encore soutenue par deux tréteaux s'appuyant sur des embases situés un peu au-dessus de la ligne à 45°, et par deux petits vérins placés à la partie inférieure et destinés à prévenir toute déformation de cette partie.

L'ensemble du support est en fer et d'apect très léger. Il est suffisant pour permettre

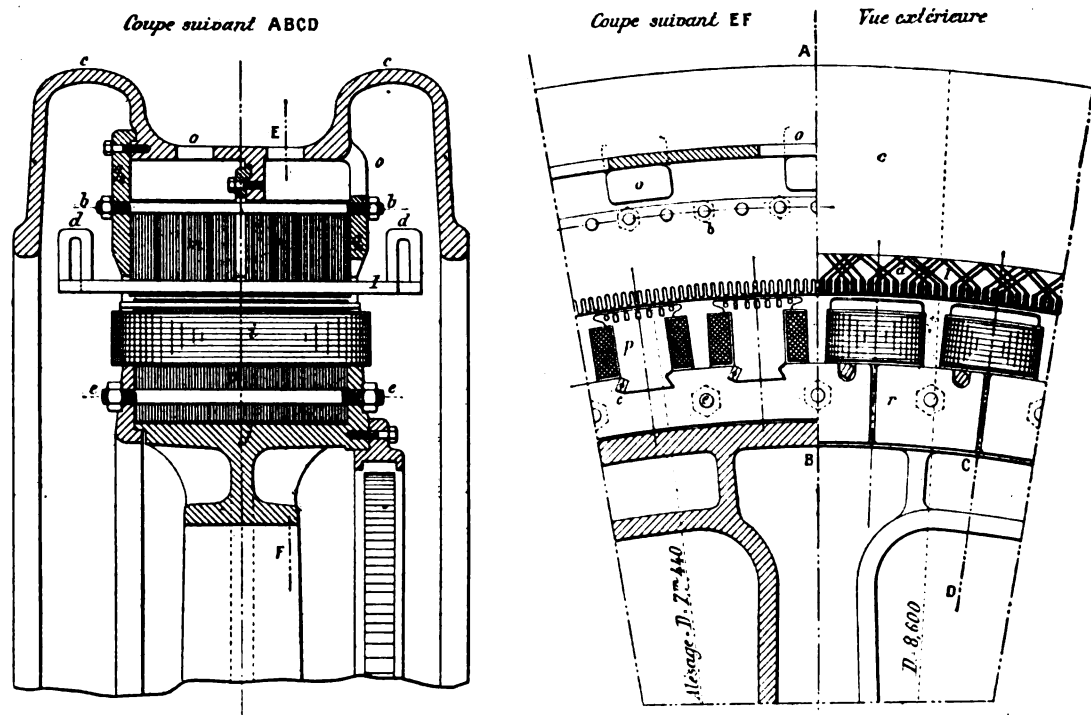


Fig. 4 et 5. — Coupes et vues de l'alternateur de l'Allgemeine Elektricitæts Gesellschaft.

de faire tourner la machine à vide sans excitation et à la vitesse normale en l'entraînant uniquement à l'aide de son excitatrice fonctionnant comme moteur à courant continu.

Le diamètre extérieur de l'enveloppe de l'induit est de 8,60 m, sa largeur de 1,20 m.

La largeur totale des tôles n'a que 58 cm sans déduction des espaces entre les différents paquets.

Le diamètre intérieur de l'induit est de 7,41 m.

Les tôles induites représentées partiellement sur la figure 6 ont une hauteur radiale de 25,5 cm. Elles portent des rainures rectangulaires à fonds arrondis ; le nombre de ces rainures est de 15 par pôle induit soit 1 080 pour toute la machine.

La largeur de ces encoches est de 11 mm et leur profondeur totale de 38 mm.

Les bords des dents sont légèrement échancrés pour permettre de glisser des cales en matière isolante tenant en place les conducteurs induits.

L'enroulement de l'induit est formé par des conducteurs I de 93 mm² de section environ réunis par des développantes *d* en forme de V de section un peu plus faible et placés dans des tubes en micanite de 3,5 mm d'épaisseur.

Ces conducteurs sont de trois types différents comme longueur ainsi que le montre le schéma du bobinage représenté sur la figure 7.

Ce schéma montre que pour chaque paire de pôle, chacune des phases de l'enroulement induit comprend une bobine de trois spires et une de deux. La tension aux extrémités de chaque conducteur ne dépassant pas 9 à 10 volts la tension entre deux développantes voisines n'atteint jamais plus de 20 volts ce qui explique pourquoi les développantes sont simplement recouvertes d'une couche de verni isolant et pourquoi l'on n'a à se préoccuper que de l'isolation par rapport à la masse.

Les prises de courants sont montées sur des isolateurs en porcelaine placés à la partie inférieure de la dynamo.

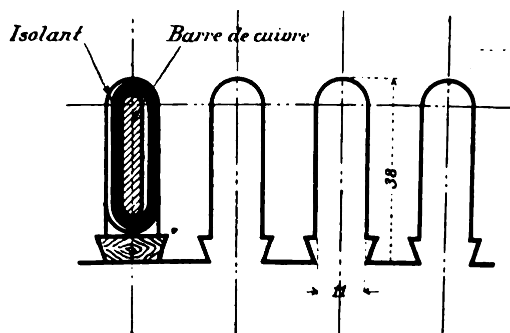


Fig. 6. — Encoches de l'induit.

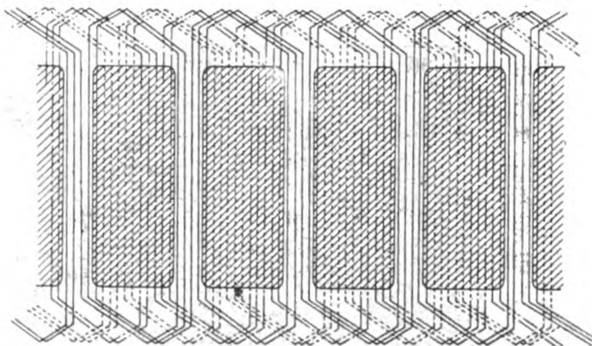


Fig. 7. — Schéma du bobinage de l'induit.

La résistance de l'induit à chaud est de 0,098 ohm ; la perte par effet Joule dans l'induit en pleine charge est donc de 25 000 watts environ, soit 0,83 p. 100.

Le poids de l'induit est de 80 000 kg environ.

Inducteur. — Le volant en fonte est en quatre parties assemblées au moyeu à l'aide de deux boulons par joint et deux frettes posées à chaud. Chaque portion de jante est réunie au moyeu par trois bras solidement nervurés.

Etant donnée la vitesse tangentielle assez forte de 32,3 m par seconde l'assemblage des quatre parties de la jante a été faite d'une façon toute spéciale.

Les surfaces en regard de chaque portion de jante assemblées chacune par deux boulons, sont en outre percées pour laisser passer un cylindre en fer de 15 cm de diamètre présentant à ses extrémités deux logements dans lesquels sont chassés à force deux clavettes sans tête.

L'entraînement se fait à l'aide de 2 clavettes disposées à 90°. Le diamètre de l'arbre est de 66 cm et la longueur totale du moyeu de 120 cm.

Le circuit magnétique inducteur est en tôles feuilletées. Il est formé d'une couronne de tôles composée de segments correspondant à la largeur de trois pôles. Chaque segment de tôles inductrices est serré à l'aide de trois boulons *e e* entre une couronne venue de fonte avec le volant et trois segments rapportés en fonte s'embèquetant dans la jante.

Les noyaux polaires *p* sont terminés en queue d'aronde et viennent se loger dans des mortaises de forme spéciale et asymétrique. L'une des extrémités de la queue d'aronde est emprisonnée dans la couronne inductrice, l'autre est séparée par un système de trois clavettes triangulaires dont l'une en forme de triangle isocèle occupe toute la largeur de la couronne et les deux autres à section en forme de triangle rectangle la moitié seulement

de cette largeur. Le serrage est obtenu à l'aide de tiges de fer chassées à force dans des rainures demi-rondes ménagées en regard dans les clavettes triangulaires (1).

Des encoches sont pratiquées dans les segments rapportés sur l'inducteur pour faciliter ce clavetage.

Le diamètre extérieur de l'inducteur est de 7,39 m et l'entrefer de 10 mm.

La largeur des tôles inductrices est de 56 cm et celle du volant complet de 75 cm environ.

La surface des pièces polaires est de 56 × 24 ou 135 cm² (1) environ.

L'enroulement inducteur est fait en câble à section rectangulaire enroulé sur plat; il y a 10 couches environ à raison de 9 spires chacune.

L'enroulement inducteur est groupé en deux séries de 36 bobines en quantité.

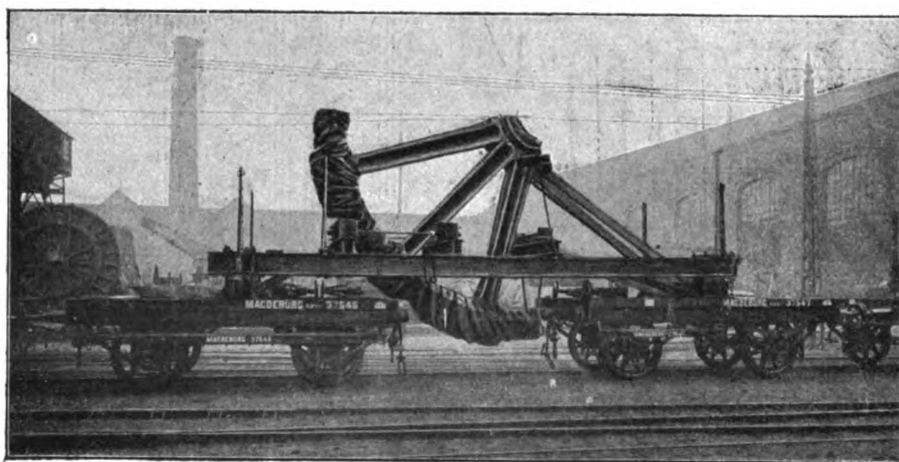


Fig. 8. — Photographie montrant la composition adoptée pour le transport d'un quart d'inducteur de l'alternateur de l'Allgemeine Elektricitæts Gesellschaft.

La puissance absorbée pour l'excitation en pleine charge avec un facteur de puissance de 0,9 est de 31 000 watts soit environ 1 p. 100 de la puissance apparente de la machine.

En dehors du circuit inducteur les pôles portent des circuits amortisseurs Hutin et Leblanc. Ces circuits sont formés par pôle par 6 tiges à section rectangulaire et deux à section circulaire aux cornes polaires. Ces huit tiges sont rivées dans deux segments en cuivre placés de chaque côté du pôle.

Le rôle des circuits amortisseurs est ici à la fois de faciliter le fonctionnement des alternateurs en parallèle et aussi d'étouffer les harmoniques du flux de réaction induit puisque celles-ci donnent naissance à des flux se déplaçant par rapport aux inducteurs avec une vitesse d'autant plus grande que l'ordre de l'harmonique est plus élevé.

Le poids de l'inducteur complet est de 70 tonnes environ.

Une dynamo à courant continu est calée sur l'arbre de l'alternateur et sert à l'Exposition à l'entraîner sous l'action du courant pris sur le réseau.

La puissance consommée pour faire tourner l'alternateur à vide à la vitesse normale est assez faible puisque la seule perte d'énergie correspond uniquement aux pertes par frottements.

Sous l'influence des variations de voltage du réseau le moteur à courant continu entraî-

(1) Voir pour plus de détails l'article de M. C.-F Guilbert, « Machines dynamo-électriques », t. XVI, p. 179; 1898.

nant le volant peut facilement passer du fonctionnement en moteur au fonctionnement en génératrice. Le volant de l'alternateur sert donc dans une certaine mesure de tampon pour les à-coups un peu brusques qui pourraient se produire sur le réseau.

Transport et montage. — Le transport des différentes pièces de l'alternateur aurait nécessité l'emploi de dispositifs spéciaux, si la Société générale d'Électricité de Berlin n'avait imaginé de se servir de deux wagons sur l'ensemble desquels reposait chacune des pièces dépassant le gabarit indiqué par les Compagnies de Chemins de fer.

De plus, pour faciliter le montage, on a, tout au moins en ce qui concerne les portions du volant, disposé ceux-ci sur le wagon dans la position la plus convenable pour la commodité du montage. La figure 8 représente l'un des quarts du volant destiné à être placé à la partie inférieure.

Comme nous l'avons dit plus haut, l'annexe de la section allemande ne permettant pas de placer de grue ni de pont roulant on a dû employer des dispositifs tout à fait spéciaux pour le montage de l'alternateur.

Le montage placé sous les ordres du représentant général à Paris, de la Société générale d'Électricité, M. Kramer, a été dirigé par M. Stiegelmann de la manière suivante :

On a tout d'abord placé sur les deux quarts supérieurs du volant les deux quarts supérieurs de l'induit en remplaçant l'entrefer par des cales de cuivre ; puis chacun de ces ensembles a été amené sur l'emplacement que devait occuper la machine et où s'est fait l'assemblage des deux quarts de l'induit et des deux quarts de l'inducteur.

L'ensemble a ensuite été enlevé à l'aide de deux poutres en fer placées sous les bras puis amené à la position normale à l'aide de 4 vérins formés chacun d'une tige filetée placée verticalement entre deux fers à U et sur laquelle montent des écrous mobiles actionnés par des vis tangentes.

La demi-machine une fois en place et calée on a monté l'arbre muni du moteur continu et des paliers.

La partie inférieure, dont les voussoirs ont été retournés dans le hall de la section étrangère du palais de l'Électricité, munie des morceaux correspondants de l'inducteur a été ensuite amenée sous la première et a, après assemblage, été montée à la hauteur voulue.

Pour faciliter les assemblages des quarts supérieurs ou inférieurs entre eux l'un a été placé sur des petits vérins permettant un déplacement vertical tandis que l'autre était placé sur des rouleaux assurant le déplacement horizontal.

L'ensemble une fois monté, le support a été mis en place.

La première pièce a été entrée le 17 mars et l'assemblage terminé le 25.

Le montage complet a été achevé le 11 avril, sa durée a donc été d'environ 3 semaines.

J. Reyval.

CONGRÈS INTERNATIONAL DES TRAMWAYS [1]

IX. — SUR L'AFFERMAGE DES CHEMINS DE FER SECONDAIRES, par M. E.-A. Ziffer.

Le rapport de M. E.-A. Ziffer, sur la question sur la question suivante : « Quels sont les avantages et les inconvénients de l'exploitation directe des chemins de fer secondaires par les sociétés

(1) Voir *L'Éclairage Électrique* des 15 et 22 septembre, p. 407 et 447.

auxquelles ils appartiennent, comparativement à l'exploitation de ces lignes par les grands chemins de fer auxquels ils sont affluents ? », ne se rapportant pas à la question électrique, nous nous contenterons de le signaler.

X. — ADOPTION D'UNE BASE UNIQUE POUR L'APPRÉCIATION DE LA PUISSANCE DES MOTEURS ÉLECTRIQUES ET DES DYNAMOS GÉNÉRATRICES, par M. Macloskie.

Le rapport de M. Macloskie, ingénieur-conseil de la Compagnie Industrielle de Traction pour la France et l'Étranger, se rapporte spécialement aux moteurs [1] ; la règle qu'il propose ne tarderait pas à être connue en Angleterre sous le nom de « règle du cab », car il conclut que chaque moteur doit être représenté par trois nombres qu'il désigne respectivement par les trois lettres C — A — B.

C est la puissance exprimée en kilowatts que le moteur peut fournir pendant une heure sans que sa température dépasse de 76° C. la température ambiante, celle-ci étant comprise entre 10 et 20° C [2] ;

A est, en milliampères, la valeur de l'intensité de courant nécessaire pour augmenter de 1 kg la valeur de l'effort de traction à la jante de roues de 800 mm de diamètre ; cette valeur peut être considérée comme constante lorsqu'on a déduit du courant total une intensité constante pour chaque moteur, représentée par B [3] ;

B est cette densité constante, ou « courant mort » [4].

Pour bien comprendre le sens et les avantages de cette notation, il faut considérer ce qui suit :

Un moteur électrique capable, par exemple, de fournir continuellement 15 kilowatts à 500 tours, peut, sans inconvénients pour le collecteur ni l'enroulement, fournir 35 ou 50 kilowatts pendant un certain temps, une heure, par exemple. Il conviendra donc de le désigner d'après la puissance maxima qu'il peut fournir dans ces conditions, car un moteur de tramways ne fournit pas continuellement sa puissance maxima ; c'est la règle généralement adoptée par les constructeurs de moteurs de tramways.

L'intensité totale du courant absorbée par un moteur électrique peut se représenter par la formule

$$I = AF + B \qquad (1)$$

dans laquelle I est le courant total, F, l'effort de traction à la jante des roues, A et B les quantités désignées précédemment. En effet, la courbe des efforts de traction en fonction de l'intensité est une droite qui vient couper l'axe des coordonnées un peu au-dessus de l'origine.

Si l'on admet que le rendement du moteur est invariable, quelle que soit la charge, ces trois

---

[1] Le questionnaire se rapportait aussi aux dynamos génératrices et aux autres organes employés dans la traction électrique. En ce qui concernes les organes accessoires, le rapporteur estime que les bases adoptées généralement sont satisfaisantes. Pour les dynamos, la notation serait la même que pour les moteurs.

[2] Le rapporteur insiste sur la nécessité d'évaluer la puissance des moteurs électriques en kilowatts et non en chevaux, comme on l'a fait jusqu'à présent. Pour que l'on puisse, d'une façon générale, introduire l'échauffement comme une des bases de la notation, il faudrait que tous les moteurs fussent dans des conditions identiques au point de vue du rayonnement ; ce qui n'est pas exact. Mais en ne considérant que les moteurs de tramways pour les comparer entre eux, cette base de désignation devient d'autant plus possible que le plus grand nombre de ces moteurs modernes sont construits avec la même forme extérieure et ont, par suite, des conditions de rayonnement comparables.

[3] La proportionalité de l'effort de traction supplémentaire à l'excès de courant n'est pas exacte pour les petites puissances. Le « courant mort » B a une certaine relation avec les pertes dans le moteur, mais ne représente pas exactement celles-ci. Pour que la notation s'applique à tous les moteurs, il faut évidemment qu'on adopte dans tous les cas le même diamètre de roues.

[4] Dans la région voisine de l'origine, la courbe des efforts de traction s'infléchit vers l'origine d'où elle part ; mais cette partie de la courbe peut être négligée dans le cas qui nous occupe.

valeurs, C, A B, permettent de tracer avec une approximation suffisante les courbes caractéristiques du moteur. En effet :

1° Si l'on porte en abscisses les valeurs de l'effort de traction et en ordonnées les valeurs de l'intensité du courant, la formule (1) ci-dessus permet de tracer immédiatement la courbe des efforts de traction.

2° Pour une valeur donnée de l'effort de traction, l'intensité étant connue et le voltage aussi (500 volts), comme le rendement est supposé constant et égal à 80 p. 100, on en déduit la puissance disponible à la jante des roues. La puissance dépensée à la jante des roues est, d'autre part, égale au produit de l'effort de traction par la vitesse de translation de la voiture ; cette dernière puissance est évaluée en kgm : s. ; on la transforme en kilowatts. Cette égalité permet de déterminer la vitesse correspondant à chaque effort de traction et de tracer ainsi, point par point, la courbe des vitesses [1].

Il reste à montrer comment on peut calculer la valeur des constantes A et B d'après les données fournies par les constructeurs sur leurs moteurs ; la puissance C est donnée par le constructeur. Le rapporteur donne deux exemples, relatifs aux moteurs G. E. 1 200 et G. E. 2 000. cités, page 201, dans l'ouvrage de MM. Blondel et Dubois.

Pour le premier, les efforts sont donnés par des roues de 840 mm de diamètre ; l'effort sur des roues de 800 mm sera $\frac{840}{800} = 1{,}05$ fois plus grand. Pour 100 ampères la valeur de cet effort est de 557 kg et pour 200 ampères, de 1 365 kg. En transportant ces valeurs de I et de F dans l'équation (1) on tire facilement $A = 0{,}125$; $B = 30$. Le moteur G. E. 1 200 sera donc représenté, en notation CAB, par C — 125 — 30.

Pour le moteur G. E. 2 000, on a pour $I = 100$, $F = 346$ et pour $I = 200$, $F = 966$; on en tire $A = 0{,}161$, $B = 45$; il sera donc désigné, en notation CAB par C — 161 — 45.

On voit facilement, par ce qui précède, que plus A est grand, plus la vitesse aussi est grande.

Le rapporteur fait, à juste titre, remarquer que, en raison des conventions admises, notamment la constance du rendement, ces formules ne sont qu'approximatives et ne s'appliquent bien que pour les charges normales. « Etablir une expression qui couvrira toute condition de charge est, à notre avis, pratiquement impossible. »

XI. — SYSTÈMES DE FREINS A APPLIQUER DANS LES EXPLOITATIONS DE TRAMWAYS A TRACTION MÉCANIQUE, par M. Monmerqué.

Les réponses au questionnaire ayant été trop peu nombreuses, le rapporteur, ingénieur en chef des services techniques de la Compagnie générale des Omnibus, de Paris, n'a pas fait de rapport écrit. Il rappelle que les conclusions de M. Fromm, au Congrès de Genève, en 1898, étaient les suivantes :

1° Pour la traction animale, le frein à main ordinaire est suffisant ;

2° Pour les voitures à traction mécanique, il faut employer deux freins : un frein à main et un frein mécanique ;

3° Pour les lignes dont le tracé comporte de fortes rampes, il faut employer en outre un troisième frein spécial, comme les freins à patin, etc.

Cette année, quatre réponses seulement ont été données ; elles n'apportent aucun renseignement nouveau. Le rapporteur demande donc que le Congrès adopte les conclusions suivantes :

---

[1] La puissance électrique fournie au moteur est $EI = 500\,(AF + B)$, ce qui, avec un rendement η, correspond à $500\,(AF + B)\eta$ watts disponibles à la jante des roues. La puissance dépensée à la jante des roues est $\frac{FV}{3600}$ kgm : s, soit $\frac{9{,}81 \times FV}{3600}$ watts, V étant la vitesse de la voiture en km : h. On a donc $500\,(AF + B)\,\eta = \frac{9{,}81 \times FV}{3\,600}$; on en tire $V = \frac{3\,600 \times \eta(AF + B)}{9{,}81 \times F}$.

En raison du développement de la traction mécanique, il y a lieu de laisser la question à l'ordre du jour de la prochaine session ; elle devra être discutée en tenant compte à la fois des règlements administratifs et des questions techniques.

G. PELLISSIER.

CONGRÈS INTERNATIONAL D'ÉLECTRICITÉ

LA TÉLÉGRAPHIE SANS FIL PAR ONDES HERTZIENNES

Discutée devant la section IV, présidée par M. Wunschendorf, cette question a donné lieu à un rapport de MM. Blondel et Ferrié, et à diverses communications de MM. Blochmann, Popoff, Villot, Tissot, Gavey, Ferrié et Bodde.

Le rapport de MM. BLONDEL et FERRIÉ sur l'*État actuel et progrès de la télégraphie sans fil par ondes hertziennes* a été reproduit en partie dans le numéro précédent de ce journal (p. 471) ; la fin en est donnée dans le présent numéro (p. 491). Ceci nous dispense d'y insister et nous nous bornerons à en indiquer les diverses parties en donnant pour chacune d'elles les indications bibliographiques permettant aux lecteurs de ce journal de retrouver les sources des nombreux documents utilisés dans ce rapport.

Dans la première partie, les rapporteurs, après avoir déclaré qu'ils laisseront de côté les ingénieux systèmes de télégraphie par induction à basse fréquence de MM. Preece, Evershed, Lodge, etc. (1), retracent à grands traits l'historique de l'application des ondes hertziennes à la télégraphie sans fil (2), puis décrivent sommairement l'installation actuelle d'un poste transmetteur et d'un poste récepteur (3).

La seconde partie est consacrée au rappel des portées réalisées dans les essais faits par M. Marconi à la Spezzia, dans le voisinage des côtes anglaises, à travers la Manche et aux manœuvres navales anglaises de l'an dernier ; dans ceux du lieutenant de vaisseau Tissot ; enfin, dans les essais sur terre de MM. Slaby, Voisenat, Marconi, Lecarme, etc. (4). Les

(1) VOISENAT (J.). La télégraphie sans ligne continue par induction électro-magnétique, t. XIX, p. 23 et 52, 1er et 8 avril 1899.

(2) PREECE (W.-H.). La télégraphie sans fil, systèmes Preece et Marconi, t. XII. p. 219, 24 juillet 1897. — HESS. Télégraphe Marconi, t. XIII, p. 385, 27 novembre 1897. — VOISENAT (J.). Historique de la télégraphie sans fil, t. XIV, p. 166 et 302, 22 janvier et 12 février 1898.— BRANLY (E.). Sur l'historique de la télégraphie sans fil, t. XIV, p. 302, 12 février 1898. — GOISOT (G.). A propos de la télégraphie hertzienne, t. XV, p. 370, 28 mai 1898.— J. BLONDIN. Télégraphie par ondes hertziennes, système syntone, O. Lodge et A. Muirhead, t. XVIII, p. 81 et p. 100, 21 janvier 1899. — MARCONI (G.). Progrès récents dans la télégraphie sans fil, t. XXIII. p. 98, 21 avril 1900. — TURPAIN (A.). Sur les applications possibles de la télégraphie dite sans fil, t. XX, p. 357, 2 septembre 1899. — TIETZ (Martin). Expériences sur la télégraphie hertzienne t. XVIII, p. 107, 21 janvier 1899.

(3) BOULANGER (J.) et FERRIÉ (G.). Le poste de télégraphie sans fil de Wimereux, t. XXII, p. 507, 31 mars 1900. — Appareils Ducretet pour la télégraphie sans fil, t. XV, p. 237, 7 mai 1898.

(4) Expériences de la Spezzia, t. XIII, p. 190, 23 octobre 1897. — Rayon d'action de la télégraphie hertzienne, t. XV, p. 372, 28 mai 1898. — Nouvelles expériences sur la télégraphie sans fil, t. XVI, p. 523, 17 septembre 1898. — Télégraphie par ondes hertziennes, entre South Foreland et East-Goodvin, t. XVIII, p. XXXIX, 28 janvier 1899. — Télégraphie par ondes hertziennes à travers la Manche, t. XVIII, p. XCI, 25 février 1899 ; t. XIX, p. VI, 8 avril 1899 ; p. CXLVIII, 1er juillet 1899 ; t. XXII, p. 513, 31 mars 1900. — Résultats des essais de télégraphie sans fil faits pendant les manœuvres navales anglaises, t. XX, p. CXIV, 9 septembre 1899. — La télégraphie sans fil dans la marine américaine, t. XXI, p. LXXXVI et CIV, 25 novembre et 2 décembre 1899 ; t. XXII, p. XLV, 27 janvier 1900. — Télégraphie sans fil sur les lignes de paquebots anglo-françaises, t. XXII, p. XXVIII, 20 janvier 1900. — Essais de télégra-

rapporteurs indiquent ensuite les résultats d'expériences inédites faites par eux, qui confirment la loi approximative de la proportionnalité de la portée au carré de la somme des hauteurs des antennes et qui montrent que cette loi est encore à peu près exacte lorsque les antennes transmettrice et réceptrice ont des hauteurs inégales.

Dans la troisième partie, les rapporteurs rappellent les idées émises par divers auteurs sur la façon dont se transmettent les signaux et en particulier sur le mode d'action des antennes [1] dont ils donnent une théorie.

La quatrième partie traite des progrès réalisés dans la construction des appareils producteurs d'ondes hertziennes et celle des appareils récepteurs. Pour les appareils producteurs les progrès ont été peu sensibles ; la bobine de Ruhmkorff ou les bobines Wydts et Rochefort sont toujours employées comme sources de courants alternatifs ; les oscillateurs de Righi, tout d'abord employés par M. Marconi, ne paraissent pas supérieurs à ceux, plus simples, de Hertz ; quant aux antennes, leur nature, leur forme, leur capacité ne paraissent pas avoir beaucoup d'importance dans la netteté de la portée des transmissions. Les appareils récepteurs, ou plutôt l'organe essentiel de ces appareils, c'est-à-dire les cohéreurs, ont donné lieu à de nombreuses recherches [2] qui ont permis d'accroître considérablement leur sensibilité.

Dans la cinquième partie MM. Blondel et Ferrié examinent les dispositifs encore à l'étude : les cohéreurs à décohésion spontanée [3] et leur emploi avec le téléphone [4], les divers systèmes détecteurs qui ont été proposés, les systèmes de syntonie permettant le secret des transmissions [5], etc. Ils concluent en disant que c'est par l'étude plus complète de ces nouveaux dispositifs que l'on peut espérer de nouveaux progrès dans la télégraphie sans fil par les ondes hertziennes.

Des essais récents ont d'ailleurs été faits, par l'un des rapporteurs, M. G. Ferrié sur les *cohéreurs décohérents*.

Celui-ci a fait connaître au Congrès, dans une communication que nous reproduisons

---

phie sans fil par le Signal Corps des Etats-Unis, t. XX, p. xxx, 22 juillet 1899. — Résultats des essais du lieutenant Tissot, t. XVIII, p. 467, 25 mars 1899 et t. XXII, p. 80, 13 janvier 1900. — Expériences de télégraphie sans fil entre la tour Eiffel et le Panthéon, t. XVII, p. 381, 26 novembre 1898. — Télégraphie sans fil au Transvaal, t. XXIII, p. xcix, 26 mai 1900. — Expérience de MM. Lecarme, de télégraphie sans fil entre Chamonix et le Mont-Blanc, t. XXI, p. 236, 11 novembre 1899. — Expériences de MM. Vallot et Lecarme, de télégraphie sans fil en ballon libre, t. XXIII, p. 313, 26 mai 1900. — Projet de télégraphie par ondes hertziennes entre Reggio et Messine, t. XVIII, p. cxvi, 11 mars 1899. — Projet de télégraphie sans fil entre l'Inde et Sumatra, t. XXII, p. xi, 6 janvier 1900. — Projets divers d'application de la télégraphie sans fil, t. XIX, p. cxlviii, 1er juillet 1899.

(1) Blondel (A.). Sur la théorie des antennes dans la télégraphie sans fil, t. XVI, p. 316, 20 août 1898. — Broca (A.). Sur la théorie des antennes dans la télégraphie sans fil, t. XVI, p. 318, 20 août 1898.

(2) Rutherford (E.). Détecteur d'ondes électriques pour la transmission sans fil, t. XII, p. 568, 18 septembre 1897. — A. Blondel. Sur les cohéreurs Marconi, t. XVI, p. 316, 20 août 1898. — Lamotte (M.), Cohéreurs ou radio-conducteurs, t. XXII, p. 481, 31 mars 1900. — Tissot (C.). Sur l'emploi de nouveaux radio-conducteurs pour la télégraphie sans fil, t. XXIII, p. 78, 14 avril 1900. — Branly (E.). Accroissements de résistance des radio-conducteurs, t. XXIII, p. 191, 5 mai 1900. — Blondel (A.) et Dobkevitch. Sur la sensibilité maxima des cohéreurs employés pratiquement dans la télégraphie sans fil, t. XXIII, p. 195, 5 mai 1900. — Malagoli (R.). Sur le mode de fonctionnement du cohéreur, t. XXIII, p. 270, 19 mai 1900. — Tissot (C.). Communication par télégraphie sans fil à l'aide de radio-conducteurs à électrodes polarisées, t. XXIII, p. 352, 2 juin 1900.

(3) Tommasina (T.). Cohéreurs décohérents au charbon, t. XXIII, p. 79, 14 avril 1900.

(4) Ducretet (E.) et Popoff (A.). Sur l'application directe du téléphone à la réception des signaux de la télégraphie sans fil, t. XXIII, p. 108, 21 avril 1900.

(5) Blondel (A.). Sur la syntonie dans la télégraphie sans fil, t. XXIII, p. 351, 2 juin 1900. — Shaw (A.). Dispositif montrant la syntonie dans la télégraphie sans fil, t. XXIII, p. 108, 21 avril 1900. — Tommasi (D.). Dispositif destiné à empêcher l'interception des dépêches dans la télégraphie sans fil, t. XXIII, p. 314.

plus loin *in extenso* (p. 499), les résultats de ces essais ainsi que la théorie à laquelle ils l'ont conduit.

Les expériences ont porté sur des cohéreurs à contact charbon-charbon, métal-charbon, métal-métal et métal-liquide conducteur. Ces substances étaient placées dans l'air, le pétrole ou le vide. Elles ont montré que les cohéreurs à contact métal-charbon dans l'air conviennent le mieux aussi bien sous le rapport de la sensibilité que sous le rapport de la facilité de réglage.

Quant à la théorie du fonctionnement des cohéreurs proposée par M. Ferrié, elle repose sur les deux hypothèses suivantes :

1° Les limailles conductrices forment des condensateurs dont la couche diélectrique se trouve percée par une étincelle quand, sous l'influence des ondes, la différence de potentiel atteint une valeur suffisante ; cette étincelle entraîne des particules conductrices qui forment des ponts conducteurs entre les limailles : d'où diminution considérable de la résistance électrique de l'ensemble.

2° Il existe entre les limailles conductrices, lorsqu'elles sont suffisamment rapprochées ou lorsque les ponts conducteurs qui les réunissaient ont été rompus par un choc, des canaux vides de toute matière diélectrique [1], et dans ces canaux il se forme une effluve sous l'action de la différence de potentiel appliquée aux extrémités du cohéreur ; la section de ces canaux et par conséquent des effluves augmente lorsque la différence de potentiel croît sous l'influence des ondes hertziennes et de cette augmentation de section résulte une augmentation de la conductance du cohéreur.

Les considérations développées par M. Ferrié dans sa communication (voir p. 502) montrent que ces deux hypothèses rendent bien compte des faits connus jusqu'ici. La première diffère d'ailleurs bien peu de celle que proposait M. Lodge dès 1894 et la seconde nous paraît matérialiser le processus inconnu analogue à la polarisation des diélectriques que M. Branly invoquait un peu auparavant pour expliquer les phénomènes qu'il avait observés. L'application simultanée des deux théories de M. Branly et de M. Lodge, permettrait donc, comme le prévoyait M. Blondel dans son rapport (voir p. 494), d'expliquer le fonctionnement des cohéreurs ou radio-conducteurs beaucoup mieux que ne peut le faire chacune d'elles prise isolément.

L'utilisation des cohéreurs à décohésion spontanée pour l'*Application directe d'un récepteur téléphonique à la télégraphie sans fil* a été l'objet d'une note de M. Popoff qui complète quelques renseignements qui ont été publiés récemment dans ce journal [2].

---

(1) C'est en somme l'hypothèse que l'on fait pour expliquer les propriétés fondamentales des corps et que l'on exprime ordinairement en disant que tout corps est formé de molécules matérielles séparées par des pores vides de toute matière pondérable.

(2) *L'Éclairage Électrique*, t. XXIII, p. 108, 21 avril 1900.

Ces renseignements, adressés par M. Ducretet, nous apprenaient que M. Popoff était parvenu a établir des communications de télégraphie sans fil avec récepteur téléphonique entre des postes situés à une cinquantaine de kilomètres de distance. La note de M. Popoff au Congrès d'électricité, nous fournit les compléments suivants :

Cette installation de télégraphie sans fil avait été réalisée en vue du sauvetage du cuirassé russe *Le Général-Amiral d'Apraxine* échoué sur les côtes de l'île Hohland, l'hiver dernier par 20° au-dessous de zéro. Les transmissions établies, il fut permis de signaler, par le télégraphe sans fil, qu'un bloc de glace s'étant détaché près de Zovensary, un groupe de pêcheurs qui s'y trouvait était entraîné vers la pleine mer. Le télégramme d'alarme envoyé signé de l'amiral Avelan, fut reçu *au vol* par le navire brise-glaces Ermack et les 27 pêcheurs échoués sur le bloc de glace furent sauvés d'une mort certaine. Les débuts pratiques de la télégraphie sans fil en Russie, furent donc au profit de l'humanité, et c'est avec une réelle émotion qu'ils furent annoncés par la presse russe en même temps que le succès du sauvetage du cuirassé, mis ainsi en communication, sans fil, avec des îles distantes de 47 km.

Les postes établis dans le golfe de Finlande entre des îles distantes de 47 km (Kotka et Hohland) ont prouvé,

La théorie des cohéreurs a encore été l'objet d'une communication de M. Semenov sur les *Mouvements de la limaille dans les cohéreurs*. M. Semenov attribue les variations de résistance des cohéreurs sous l'action des ondes à une orientation des particules de limaille ; cette opinion est combattue par M. Ferrié et par M. Tissot ([1]).

Ne quittons pas les cohéreurs sans signaler la proposition faite par le Dr Blockmann, que le Congrès émet le vœu que le tube à limaille fût désormais appelé un *branly*. Sur la demande de M. Branly cette proposition n'a pas été maintenue. Elle n'en constitue pas moins une reconnaissance publique du rôle trop longtemps méconnu qu'a eu M. Branly dans l'application des ondes hertziennes à la télégraphie, et à ce point de vue nous sommes heureux de l'enregistrer.

Sur les transmetteurs aucune communication n'a été faite. Notons cependant dans cet ordre d'idées la communication dans laquelle M. O. Rochefort a décrit les *Transformateurs unipolaires Wydts et Rochefort*, déjà connus des lecteurs de ce journal ([1]).

La communication du Dr Rudolf Blochmann sur la *Question de la dirigeabilité des appareils de la télégraphie sans fil par les ondes électriques*, envisage particulièrement un point

---

par le succès des transmissions réalisées en hiver (au commencement de 1900) que cette transmission sans fil pouvait être pratiquement adoptée entre ces îles jusqu'alors privées entre elles de tout moyen de communications télégraphiques. Pendant une durée de 84 jours, 440 télégrammes officiels ont été échangés entre ces postes, à des heures déterminées ; la plus longue dépêche a été de 108 mots ; le service régulier était assuré par des télégraphistes du Génie militaire russe.

Les mâts employés pour recevoir les antennes radiatrice et collectrice ont 48 mètres de hauteur. Un de ces mâts est à 5 km de la côte au milieu d'un bois, une portion d'île est interposée entre les postes. D'autres détails de cette double installation ne peuvent être décrits.

Pour les essais rapides les cerfs-volants sont d'un bon emploi.

Les appareils radio-téléphoniques ont été fournis par M. E. Ducretet.

([1]) Voici d'après le compte rendu des secrétaires, le résumé de cette communication et de la discussion à laquelle elle a donné lieu :

Le tube à limaille est-il cohéreur ou radio-conducteur ?

Pour résoudre ce problème, M. Semenov a fait l'expérience suivante ; il a placé dans un circuit conducteur une plaque de mica percée d'un trou rempli de limaille, maintenue, d'une part, par une plaque métallique, d'autre part, par l'extrémité d'une vis de serrage appliquant la plaque de mica contre la plaque métallique.

Alors deux ordres de faits ont été constatés : ou la limaille ne laissait pas passer le courant avant le fonctionnement de la bobine employée pour obtenir les ondes ; ou la limaille étant fortement tassée, le courant passait avant le fonctionnement de la bobine.

1er cas : Ou le courant prenant naissance immédiatement après l'étincelle et on doit en conclure que la limaille formait pont ; ou le galvanomètre éprouvait simplement une légère déviation, et il est probable que la limaille en se tassant tombait hors du trou.

2e cas : Le courant passait préalablement à travers la limaille, alors, tantôt l'étincelle ne modifiait rien, la limaille étant alors évidemment trop serrée ; tantôt, après une légère impulsion vers zéro, le galvanomètre reprenait sa position primitive, ce qui devait correspondre à un changement d'orientation des grains ; ou bien encore le galvanomètre revenait à zéro, les grains perdant l'équilibre pendant l'opération et tombant hors du trou.

De toute façon, il y avait toujours orientation avant le passage du courant, donc action magnétique produite par les ondes, laquelle action était cause de formation du pont qui n'était pas alors créé par suite du courant. Donc le tube est cohéreur et non radio-conducteur.

M. le capitaine Ferrié demande alors comment expliquer les phénomènes de cohérence produits dans les diélectriques, par exemple, avec d'autres matières que la limaille de fer. M. Semenov répond que les deux séries de phénomènes existent.

M. le capitaine Tissot déclare que bien qu'il emploie les tubes à limaille de fer pour d'autres raisons, il n'a jamais observé, ni au microscope, ni à l'aide de phénomènes de diffraction, la moindre orientation.

Si M. Semenov a observé des phénomènes de cohérence magnétique, c'est que l'énergie des ondes employées dans ces expériences devait être bien plus considérable que celle des ondes utilisées en télégraphie sans fil, ce qui change les conditions des phénomènes.

([1]) *L'Éclairage Électrique*, t. XXII, p. 362, 20 novembre 1897.

qui ne fait guère prévoir son titre : la manière dont les ondes hertziennes émises au poste transmetteur viennent influencer l'antenne réceptrice.

Suivant M. Blochmann la transmission résulterait de la déformation par les ondes hertziennes des surfaces équipotentielles du champ électrique terrestre ; il se passerait dans cette transmission quelque chose d'analogue à ce qui a lieu dans la propagation des ondes produites à la surface de l'eau d'une perturbation causée par une pierre tombant dans cette eau ([1]). Comme le faisait observer M. Ferrié à une séance ultérieure, la théorie de M. Blochmann qui fait intervenir l'électricité atmosphérique comme intermédiaire de la transmission, ne diffère pas au fond de la théorie ordinaire qui fait intervenir l'éther comme agent de propagation.

Une communication de M. VILLOT envisage le même sujet à un autre point de vue. Suivant M. Villot la conductibilité de la terre jouerait un rôle capital dans la télégraphie sans fil et il propose d'utiliser les différentes couches géologiques du sol pour mettre en communication deux points du globe terrestre au moyen de ces couches. Quant aux appareils qui conviendraient le mieux pour ce genre de télégraphie sans fil, M. Villot ne se prononce pas ; il laisse à l'expérience le soin d'en fixer le choix.

Cette manière d'envisager la transmission des signaux dans la télégraphie sans fil est vivement combattue par M. TISSOT dans une communication où il fait en outre connaître les résultats de ses propres essais ainsi que les appareils qu'il a employés ([2]).

L'*Utilisation de la télégraphie sans fil pour éviter les collisions en mer*, préconisée il y a deux ans par MM. Berget et Decombe ([3]), a donné lieu à une communication de M. BODDE.

M. Bodde rappelle que, comme le faisait observer M. Branly ([4]) à l'occasion de la lecture de la note de MM. Berget et Decombe devant l'Académie des sciences, l'appareil employé doit avertir les vaisseaux : 1° de leur voisinage ; 2° de leur direction. Le premier desideratum est déjà réalisé ; le second ne l'est point encore comme le montre l'auteur en passant en revue les divers essais qui ont été faits pour l'atteindre. C'est pourquoi il a cherché un nouveau système de signaux dont il donne la description ([5]).

([1]) Le compte rendu du Congrès dit :

L'auteur se demande ce qui se passe dans le médium, c'est-à-dire dans l'atmosphère terrestre, pendant que les appareils de la télégraphie par ondes électriques sont en action. Se basant sur le fait que cette télégraphie est troublée pendant la durée des orages, même lointains, l'auteur pense que le médium de la transmission est l'électricité atmosphérique.

La sphère terrestre est entourée de surfaces équipotentielles, qui ne sont pas troublées par un objet s'élevant dans l'atmosphère pourvu qu'il n'ait pas de grandes dimensions de largeur, par exemple, un fil métallique vertical de grande hauteur. Mais s'il se produit des fluctuations électriques le long du fil, l'équilibre des surfaces équipotentielles sera troublé de même que la surface de l'eau est troublée quand une pierre tombe sur elle. De même que dans ce dernier cas, il se produit des ondes qui s'étendent de proche en proche et qui peuvent être reçues par le fil vertical relié aux appareils récepteurs.

Pour cette opinion, l'auteur apporte trois arguments : 1° les fils de renforcement horizontaux ne conviennent pas pour la transmission ; 2° il en est de même des fils tombant du haut en bas d'un édifice élevé ; 3° on a transmis des télégrammes à des distances telles que la propagation rectiligne semble impossible à cause de la courbure de la terre.

L'auteur en terminant, pense que si la théorie précédente est vraie, la dirigeabilité des appareils employés maintenant pour la télégraphie nouvelle doit être regardée comme impossible.

M. le capitaine FERRIÉ demande que le Dr Blochmann explique pourquoi la transmission est meilleure entre deux stations séparées par l'eau qu'entre deux stations à l'intérieur des terres.

Le docteur répond que les surfaces équipotentielles sont beaucoup plus régulièrement distribuées au-dessus de la surface de l'eau qu'à l'intérieur des terres.

([2]) Voir *L'Éclairage Électrique*, t. XXIII, p. 352, 2 juin 1900.

([3]) BERGET et DECOMBE, *Écl. Élect.*, t. XVI, p. 264, 6 août 1898.

([4]) BRANLY. *Écl. Élect.*, t. XVI, p. 249, 6 août 1898.

([5]) Dans ce système, on place un miroir parabolique, non au poste récepteur, mais au poste transmetteur. Le

Dans le même ordre d'idée, signalons (bien qu'il n'y soit pas question d'ondes hertziennes) une communication de M. Chaye Pacha sur l'*Application des microphones sous-marins à la sécurité des pêcheurs de Terre-Neuve* (1).

En terminant signalons, comme se rattachant au sujet de la transmission de signaux sans l'intermédiaire de conducteur métallique, les essais de téléphonie sans fil effectués par M. Gavey et présentés au Congrès par leur auteur (2).

A ce propos, M. Chaye Pacha a rappelé qu'en 1886, il a fait en rade de Brest des essais de téléphonie sans fil entre deux navires distants de 100 m, essais qu'il regrette de n'avoir pu continuer.

J. Blondin.

ÉTAT ACTUEL ET PROGRÈS DE LA TÉLÉGRAPHIE SANS FILS PAR ONDES HERTZIENNES

par André Blondel, ingénieur des Ponts et Chaussées et Gustave Ferrié, capitaine du Génie (1)

III. Théorie de la télégraphie sans fil. — Le phénomène de la télégraphie sans fil est assez complexe et a donné lieu à des interprétations variées. La première idée qui se présente à l'esprit, c'est d'admettre qu'il y a induction mutuelle entre les deux antennes verticales sensiblement parallèles ; l'antenne excitatrice étant parcourue par un courant de charge i sensiblement uniforme (surtout si la capacité à l'extrémité est grande) produit dans l'antenne réceptrice, en vertu du théorème de Newmann, une force électromotrice induite

$$\frac{hh'}{r}\,\frac{di}{dt},$$

h et h' étant les hauteurs d'antennes et r leur distance. Mais ce n'est là qu'une expression mathématique, d'ailleurs en désaccord avec la loi indiquée ci-dessus (en remarquant que la limite de portée est définie par une certaine force électromotrice minima nécessaire pour agir sur le cohé-

---

transmetteur se met au foyer d'un miroir parabolique cylindrique. Le miroir parabolique tourne autour de son foyer et envoie des ondes herztiennes successivement dans tous les azimuts. Ces ondes sont reçues par les mâts récepteurs des navires voisins et par l'intermédiaire des organes ordinaires de la télégraphie sans fil renseignent sur la position du navire transmetteur.

Chaque navire possède un poste transmetteur et un poste récepteur, mais pour que le premier n'influence pas le second, l'auteur a imaginé un commutateur tournant synchroniquement avec le miroir du transmetteur, et permettent de distribuer le temps d'action entre le distributeur et le transmetteur.

M. Chaye-Pacha demande si des essais de ce système ont été faits.

M. Bodde répond que des essais ont été faits, mais qu'il n'a pu encore faire des essais à grande distance.

Sur une question de M. le Dr Blochmann, il ajoute qu'il a été vérifié que par le moyen du commutateur tournant, que les postes transmetteur et récepteur d'un même navire, n'avaient aucune influence l'un sur l'autre.

(1) Ces pêcheurs sont exposés au danger des transatlantiques et aussi à celui de voir s'égarer des bateaux à vapeur de pêche, les barques parties pour poser et retirer les lignes de fond. L'appareil se compose d'un microphone enfermé dans une boite et plongé dans l'eau et relié à une pile et à un téléphone sur le bateau. On peut ainsi entendre le bruit d'un paquebot à 4 ou 5 kilomètres. Le bateau menacé annonce alors sa présence par des signaux acoustiques ou optiques. En enveloppant presque totalement la boîte microphonique d'une matière éteignant les sons (par exemple une double enveloppe de plomb avec interposition de noir de fumée) et en munissant d'un cornet acoustique la partie laissée libre, on peut s'orienter sur la provenance des sons.

M. Chaye termine en demandant au Congrès de faire tous ses efforts pour attirer l'attention des chambres de commerce de tous les ports sur l'avantage qu'il y aurait à munir de microphones tous les Terre-Neuviens.

M. West demande si, dotant d'un microphone sous-marin, un bateau à vapeur en marche, l'appareil pourra déceler le voisinage d'un autre vapeur. M. Chaye répond qu'il a seulement pensé jusqu'ici aux pêcheurs de Terre-Neuve et qu'il n'a pas fait d'expériences pour pouvoir répondre.

(2) Ces essais ont été faits entre un îlot et la côte d'Islande, les deux stations étant à une distance de 12 km. Ils ont parfaitement réussi et leurs résultats conduisent M. Gavey à penser que la télégraphie sans fil par induction est supérieure à la télégraphie sans fil par ondes hertziennes quand la distance n'est pas supérieure à 12 km.

(1) Voir la reproduction des deux premières parties de ce rapport dans le numéro précédent, p. 471.

reur), qui n'explique rien sur la propagation des ondes et qui paraît enfin en défaut quand, par suite de la rotondité de la terre ou d'un obstacle, les antennes sont invisibles l'une de l'autre.

Certains auteurs ont cru pouvoir invoquer un effet de capacité électrostatique entre les antennes, comme dans le dispositif d'Edison cité plus haut, mais il est facile de voir que l'effet produit diminuerait en raison inverse du cube de la distance et serait très vite annulé, contrairement à ce qu'indiquent les résultats expérimentaux.

D'autres, et au début M. Marconi, ont cru que la propagation se faisait par ondes libres dans l'air, et ne faisaient aucune distinction entre l'emploi d'un simple oscillateur à boules de Righi et celui d'une antenne mise à terre. Cependant, l'expérience a montré que les antennes jouaient un rôle considérale et que, sans elles, la transmission est limitée à de très faibles distances.

M. Broca a expliqué le rôle de l'antenne d'émission en supposant que l'énergie se propage le long de cette antenne jusqu'au sommet, où (la direction du vecteur de Poynting étant indéterminée) elle se disperse suivant une nappe horizontale. Mais les faits ne confirment pas cette hypothèse, car, en recourbant le bout de l'antenne à angle droit, ce qui devrait rendre la nappe verticale, on n'observe aucune différence. En outre, cette théorie n'expliquerait pas l'effet de la mise à la terre de l'une des boules de l'oscillateur qui accroît, dans une proportion inouïe, la portée des signaux.

D'autres physiciens, frappés de cet effet de la mise à la terre, ont été tentés de ne voir dans la propagation des signaux qu'un effet de conduction par la terre, effet qui est encore plus sensible quand on remplace celle-ci par un fil conducteur entre les deux postes. On expliquerait ainsi pourquoi la transmission est bien meilleure sur la mer (¹) que sur la terre, moins bonne conductrice, et pourquoi, dans certaines expériences du lieutenant Tissot, où le poste émetteur était sur un rocher, il a fallu, pour obtenir une bonne communication, se relier d'abord à la mer par un fil métallique. Mais on ne saurait alors expliquer les réceptions excellentes obtenues par M. Lecarme au moyen d'une antenne dans un ballon.

En réalité, le phénomène nous paraît être un mélange de plusieurs effets dont l'un ou l'autre prédomine suivant les cas.

Tout d'abord, l'antenne mise à la terre constitue, avec celle-ci, un oscillateur puissant, à côté duquel celui que constituent les deux boules du déflagrateur ne joue qu'un rôle négligeable, comme l'a déjà fait ressortir M. Della Riccia. Cet oscillateur est à la fois très puissant, par suite de sa capacité par rapport à la terre, et très efficace, par suite de la façon dont il polarise les ondes, comme l'un de nous l'a exposé ailleurs avec plus de détails (²). Des oscillations électriques se produisent le long de l'antenne, à laquelle la force électrique est normale (fait confirmé expérimentalement par M. Tommasina au moyen de la photographie des effluves) et ébranlent l'éther voisin entre l'antenne et la terre. De là naissent des ondes qui se propagent dans tout l'éther environnant; elles sont polarisées et de révolution autour de l'antenne. Les lignes de force électrique sont dans les plans méridiens et aboutissent normalement à la terre ; les lignes de force magnétique sont des cercles ayant l'antenne pour axe. Mais, par suite de cette polarisation et de l'effet de concentration bien connu dans la propagation des ondes le long des fils ou des surfaces métalliques, la densité électrique est beaucoup plus forte à la surface du sol, directement reliée à l'oscillateur, que dans l'atmosphère, et, en gros, les lignes magnétiques semblent glisser le long du sol. Cette concentration est d'autant plus grande que le conducteur est plus parfait et la perte d'énergie occasionnée par le glissement est d'autant plus faible.

Mais cette concentration n'exclut pas la diffusion d'une partie importante de l'énergie dans tout

(¹) Nous ne citons que pour mémoire une explication trop ingénieuse de M. Della Riccia, d'après laquelle l'effet favorable de la mer serait dû à la réflexion des ondes hertziennes à la surface, grâce à la polarisation favorable produite par l'antenne verticale.

(²) A. Blondel, *Rôle des antennes dans la Télégraphie sans fil* (*Association française. Congrès de Nantes*, 1898). La considération des images électrostatiques utilisées dans cette note montre que l'antenne est équivalente à un demi-oscillateur de Hertz.

l'espace sous forme d'ondes hémisphériques, dont les effets sont moins intenses qu'au voisinage du sol, mais néanmoins notables.

L'antenne réceptrice, coupée aux divers points de sa hauteur par ses lignes de force magnétique, est le siège d'une force électromotrice résultante proportionnelle à l'intensité du champ et à la rapidité des oscillations qui agissent sur le cohéreur. Plus l'antenne est longue, plus elle coupe de lignes magnétiques; à égale longueur, elle en coupe d'autant moins qu'on l'écarte davantage du sol, autrement dit la portée est donc plus grande à la surface du sol qu'à une certaine distance. Il n'est pas nécessaire que l'antenne de réception soit reliée au sol, mais la portée paraît être un peu augmentée dans ce cas par l'effet de conduction signalé ci-dessus.

La force magnétomotrice des lignes magnétiques autour du centre d'ébranlement est, en vertu de la réciproque de la loi d'induction, égale à la dérivée du flux électrostatique dont la variation leur donne naissance, $H = \frac{d\Phi}{dt}$.

Il y a donc intérêt théoriquement à accroître le plus possible la capacité mise en jeu, le potentiel employé et la fréquence des oscillations en réduisant la self-inductance. Nous avons été ainsi conduits à essayer des antennes très grosses ou formées de bandes, puis à les remplacer par un disque horizontal au-dessus d'un autre placé sur le sol. Mais ce dernier dispositif a donné de très médiocres résultats si l'on n'y ajoute pas une antenne; celle-ci paraît donc nécessaire, pour produire l'ébranlement le plus considérable et le mieux polarisé, malgré la self-induction notable qu'elle présente. Le rôle de l'antenne, à ce point de vue, mérite d'être étudié plus complètement.

IV. Progrès réalisés et discussion des diverses parties. — Appareils producteurs d'ondes. — Aucun progrès notable n'a été réalisé dans les organes de transmission depuis l'origine de la télégraphie sans fil, l'effort des expérimentateurs s'étant porté presque exclusivement sur les organes de réception. On produit les ondes en chargeant périodiquement, au moyen d'une bobine d'induction, le condensateur formé par l'antenne et la terre, la décharge se faisant entre les boules de l'oscillateur.

Bobines. — Il semble résulter des expériences faites, conformément à la théorie précédente, qu'il y a avantage à transmettre des signaux avec une étincelle de décharge aussi longue que possible, pourvu qu'elle soit nettement oscillante. Il s'ensuit que l'on doit employer des bobines d'induction très puissantes. Les plus usitées sont celles qui donnent de 25 cm à 40 cm d'étincelles entre pointes, mais, par suite du débit assez notable de la bobine sur la capacité du système antenne-terre, les étincelles sont réduites à une longueur de 3 cm à 5 cm environ et deviennent très nourries. On ne peut employer que des bobines construites avec le plus fort isolement possible et en ayant soin, si les deux pôles sont inégalement isolés, de relier à la terre le moins isolé. Les bobines unipolaires de Wydts Rochefort donnent de bons résultats dans ces conditions, mais ils ne semblent pas supérieurs à ceux d'une bobine ordinaire.

On a essayé tous les types d'interrupteurs : à contacts tournants, à mercure, à pilon, à turbine, etc., mais aucun n'a montré de supériorité bien réelle. Pour une marche très prolongée, les meilleurs sont les deux derniers types. Il est toutefois certain que la fréquence doit être assez faible. M. Marconi est revenu au simple interrupteur à marteau, qui nous a également donné toute satisfaction. Le wehnelt, qui a donné lieu à des insuccès ailleurs, nous a paru excellent si l'on a soin d'ajouter une capacité en dérivation pour éviter l'arc. Pour éviter l'emploi d'interrupteurs bien incommodes lorsqu'on fait usage de grandes intensités, nous avons essayé avec plein succès des transformateurs à courants alternatifs à 30 000 volts et au-dessus, avec capacité en dérivation aux bornes du secondaire et self-induction dans le primaire (préconisée par M. d'Arsonval). Cet appareil présente le grand avantage que le courant débité sur l'antenne ne modifie pas la longueur de l'étincelle et qu'il est ainsi facile, même avec un transformateur à tension modérée, d'obtenir des étincelles oscillantes de grande longueur. L'un de nous a fait construire, dans ce but, par la maison Sautter-Harlé, un transformateur de 100 000 volts d'un type nouveau unipolaire. Mais l'emploi de transformateurs ne peut être qu'assez limité, étant donnés les dangers que présentent les courants à très haut voltage et l'énergie assez considérable qu'exigent ces appareils, supérieure

****

à celle consommée par une bobine. Nous poursuivons de nouvelles expériences sur cet appareil.

Oscillateurs. — M. Marconi, étant un élève de M. Righi, a fait ses premiers essais au moyen de l'oscillateur Righi, composé de quatre boules dont les deux intérieures sont de plus fort diamètre et plongées dans l'huile.

On a reconnu depuis que cet appareil ne présentait aucun avantage, car il joue le rôle d'un simple déflagrateur, et n'importe quel autre exploseur à deux, trois, quatre boules, etc., placées dans l'air ou dans des liquides isolants est équivalent. Les résultats dans l'huile sont même généralement moins bons qu'on ne pourrait le supposer, la résistance et le pouvoir inducteur spécifique du liquide baissant assez rapidement par suite de sa décomposition partelle et de la mise en liberté de parcelles de charbon. Cependant, nous avons été satisfaits de l'emploi d'un oscillateur à quatre boules plongé dans du pétrole et suspendu à une baguette de verre par d'autres baguettes ou par des cordons de soie permettant de les déplacer pour régler la longueur des étincelles. La plupart des expérimentateurs, même M. Marconi, sont revenus à l'exploseur de Hertz à deux boules dans l'air ; le platinage des boules ne paraît pas nécessaire pourvu qu'elles soient polies de temps en temps au papier d'émeri,

Antennes. — Contrairement à ce qu'indiquait la théorie, nous avons constaté que la nature des antennes de réception et de transformation n'a qu'une très faible influence sur la qualité des communications. Bien que les étincelles de transmission soient plus nourries lorsque l'antenne a une plus grande surface (fil de gros diamètre, bande de clinquant ou de toile métallique), ou qu'on lui adjoint une capacité supplémentaire au sommet ou à la base (en dérivation), la réception n'en paraît pas meilleure ni pire si l'on maintient au déflagrateur le même potentiel explosif. Il suffit que les antennes soient isolées avec beaucoup de soin, surtout pour la transmission, par des suspensions en ébonite ; un guipage en caoutchouc le long du fil paraît même utile en empêchant la décharge partielle de l'antenne par convexion. Le seul élément important est, semble-t-il, la hauteur et la verticalité de l'antenne.

2° Appareils récepteurs. — Des perfectionnements notables ont été introduits dans la constitution des postes récepteurs, grâce à la connaissance plus approfondie que l'on a des conditions de fonctionnement de l'organe principal, le cohéreur.

Théorie et construction des cohéreurs — Pour expliquer les phénomènes de variation de conductibilité de corps conducteurs en contact imparfait sous l'action des ondes électriques, deux théories ont été proposées, l'une par M. Branly, l'autre par M. Lodge. Il nous semble que rien ne force à les opposer et qu'il existe probablement deux effets simultanés répondant à ces deux théories. M. Branly (1) suppose qu'il y a, par l'action de la force électrique, une sorte de modification ou orientation des molécules par un processus encore inconnu analogue à la polarisation des diélectriques ou à l'électrotonus des cellules nerveuses. M. Branly montre, en effet, qu'en appliquant progressivement une force électromotrice croissante on détermine des variations également croissantes de la résistance dont le signe peut changer suivant les corps. M. Lodge (2) attribue, au contraire, l'accroissement de conductibilité, au moment de l'action des ondes, à la formation de soudures entre les corps conducteurs en contact imparfait. M. Arons (3) en a donné une vérification en montrant à la loupe les petites étincelles soudantes qui jaillissent entre les particules. M. Tommasina a montré également qu'on peut, par l'action d'une d'une force électromotrice suffisante, produire des chaînes de limaille spontanément agglomérées. Aussi la théorie de la soudure est-elle généralement admise. Elle est confirmée par les travaux de l'un de nous (4), qui a mis en évidence la nécessité, pour un cohéreur pratique, de limailles ou d'électrodes en métal légèrement oxydable. Les recherches de Dorn ont montré en outre que

(1) Branly, *Lumière Électrique*, t. LI, p. 526.

(2) Lodge, *Philosophical Magazine*, t. XXXVII, p. 94.

(3) Dorn et Arons, *Wiedmann's Ann.*, année 1898.

(4) Blondel, *Association française, Congrès de Nantes*, 1898.

l'oxydation apparente ou la couche isolante n'est souvent qu'une couche de gaz apparents ou occlus qu'on fait disparaître plus ou moins rapidement par le vide. Ce phénomène de soudure, qui nous paraît expliquer la diminution brusque de résistance qui actionne le relais au passage des ondes, n'exclut pas du tout l'existence concomitante du phénomène de Branly, plus lent et moins prononcé. Quoi qu'il en soit de la cause intime de la cohérence, il ressort des expériences faites en particulier sur les cohéreurs à limaille, les faits suivants qui caractérisent le fonctionnement de l'appareil au point de vue pratique de la télégraphie sans fil :

Si l'on fait varier la différence de potentiel créée entre les électrodes d'un cohéreur déterminé, intercalé, par exemple, dans un circuit contenant un potentiomètre et un galvanomètre, la limaille se cohère à partir d'une certaine tension et ne peut même plus se décohérer par le choc, lorsque cette différence est égale ou supérieure à une certaine valeur que l'un de nous [1] a dénommée *tension critique de cohérence* ; celle-ci varie avec la nature des métaux employés, leur degré d'oxydation, la pression des limailles.

Pour utiliser les propriétés du cohéreur dans la télégraphie sans fil, il faut que cette tension critique ne soit pas atteinte par la force électromotrice de la pile augmentée de la force électromotrice de self-induction $e = L \frac{di}{dt}$, à laquelle donne lieu l'extra-courant de rupture dans le circuit local du cohéreur et du relais. Il faut donc avoir soin que l'inductance de ce circuit local soit aussi faible que possible, et que le courant qui le parcourt ait une intensité également aussi faible que possible. La première condition étant difficile à satisfaire parfaitement, malgré l'emploi de shunts sur toutes les parties inductives, par suite de la présence des inductances supplémentaires nécessaires, il faut réduire surtout l'intensité du courant par l'emploi d'une pile à bas voltage ; nous nous servons avec succès de celles de O'Keenan ou de M. de Lalande, qui peut, avec l'étain comme électrode négative, descendre à 0,25 volt.

Si l'on appelle E′ la force électromotrice de la pile, E_0 la tension critique du cohéreur, e la force électromotrice de self-induction du circuit, E la différence de potentiel produite entre les électrodes par le passage des oscillations recueillies par l'antenne, on doit avoir.

$$E' + e < E_0 < E$$

conditions que l'on pourra satisfaire en faisant E′ et E_0 aussi petits que possible. On accroît donc la sensibilité avec une antenne donnée en abaissant le plus possible la valeur critique par l'emploi de métaux peu oxydables et en mettant en circuit une pile de faible force électromotrice et un relais très sensible.

Nous avons obtenu de très bons résultats en construisant des cohéreurs en limaille d'or vierge, d'argent vierge, ou d'argent allié d'un centième de cuivre, comprise entre des électrodes de maillechort [2]. L'emploi d'un métal légèrement oxydable permet d'élever suffisamment la tension critique de cohérence pour permettre l'emploi d'une pile capable d'actionner un relais.

Pour éviter que l'oxydation des métaux employés ne se modifie, il y a évidemment avantage à faire le vide dans le cohéreur, mais, d'après ce qu'on a dit plus haut, il ne faut pas exagérer ce vide et tenir compte des modifications qu'il peut produire en se réservant de faire varier après coup la tension critique de cohérence en agissant sur la pression de la limaille à l'aide d'une réserve de limaille contenue dans une poche recourbée en verre. Cette réserve peut aussi être placée derrière l'une des électrodes, dans laquelle on a pratiqué une encoche suivant toute la longueur d'une génératrice.

M. Tissot a constaté que l'on augmentait aussi bien à volonté la pression des limailles et, par suite, la sensibilité d'un cohéreur, en faisant les électrodes et la limaille en métal magnétique (acier,

---

(1) Blondel et Dobkewitck, *L'Éclairage Électrique*, t. XXIII; 5 mai 1900.

(2) Branly, *Comptes rendus*, 1898 ; Blondel, *Congrès de Nantes*, 1898 ; et Tissot, *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 302.

nickel ou cobalt) et en rapprochant plus ou moins du tube un petit aimant dont les lignes de force sont parallèles à l'axe du tube.

Transformateurs amplificateurs. — Il était naturel d'essayer d'accroître la force électromotrice induite agissant sur le cohéreur et, par suite, la distance possible de communication avec des moyens déterminés, par un transformateur analogue à ceux que l'on emploie en téléphonie, en en reliant le primaire d'une part, à l'antenne et, d'autre part, à la terre, et en intercalant le secondaire dans le circuit cohéreur-pile-relais dans le voisinage immédiat du cohéreur. M. Marconi a réalisé avec succès, le premier, ce dispositif sous le nom de *jigger* et a su, par tâtonnements, trouver le meilleur enroulement pour le secondaire de ce transformateur ; ce secondaire est formé de couches successives de manière que le nombre de tours dans chacune d'elles diminue à mesure qu'augmente la distance au centre ; on doit relier directement au cohéreur l'extrémité du secondaire qui est la plus éloignée du noyau ; les fils sont bobinés sur un noyau de verre.

M. Marconi ne donne aucune théorie à l'appui de ce mode de construction de son transformateur, qui semble réduire au minimum l'impédance et réaliser le maximum d'induction mutuelle pour ces courants de haute fréquence. L'expérience nous a montré que le *jigger* n'agit bien que comme transformateur et que le condensateur ajouté par M. Marconi en dérivation, dans l'idée de réaliser par la combinaison un effet de syntonie, est sans action sensible. Quant au transformateur, son action favorable est des plus nettes, comme nous l'avons vérifié ; d'après M. Marconi, cet appareil accroîtrait la portée de 30 à 60 p. 100.

Relais. — L'organe essentiel d'un poste récepteur, après le cohéreur, est le relais. Nous avons expérimenté un grand nombre de modèles de cet instrument ; ce sont les relais Claude, à cadre mobile, qui nous ont donné les meilleurs résultats. Nous avons pu recevoir des signaux corrects avec un relais de cette espèce en employant un cohéreur en limaille d'argent allié d'un centième de cuivre, entre électrodes de maillechort, et une pile de 0,16 volt. L'intensité du courant passant dans le cohéreur était un peu supérieure à un demi-dixième de milliampère. Mais c'était-là une limite, et nous opérons le plus souvent avec des piles de 0,3 volt.

V. Dispositifs a l'étude. — *Cohéreurs à décohésion spontanée.* — La nécessité d'un frappeur avec les cohéreurs actuels est très gênante et ne permet pas l'emploi du téléphone comme récepteur. Divers expérimentateurs ont donc cherché des cohéreurs décohérant spontanément sans choc.

M. Tommasina (1) a essayé de remplacer, pour un cohéreur à limaille d'acier, fer, nickel, cobalt le frappeur par un électro-aimant en dérivation, qui est aimanté dès que le cohéreur est actionné, et, par suite, attire aussitôt la limaille et la décohère. Mais nous avons constaté que ce dispositif présente un inconvénient, comme le dispositif Tissot décrit plus haut : la limaille s'aimante au bout d'un certain temps, sa tension critique s'abaisse fortement et il n'est plus possible de la décohérer sous les voltages employés pratiquement.

Le même auteur a indiqué qu'il était possible d'obtenir des cohéreurs auto-décohérents au charbon. On obtient de bons résultats en constituant les deux électrodes au moyen de fils de maillechort plongeant dans de la poudre de charbon analogue à celle employée dans les microphones de l'Administration suisse (2).

Le fait avait été déjà signalé par Hughes, l'inventeur du microphone (3) qui l'a revendiqué récemment. MM. Ducretet et Popoff (4) ont fait en Russie des expériences au moyen de ce procédé ou d'un dispositif analogue où le charbon est remplacé par de la poudre d'acier. Les résultats obtenus auraient été bons et leur auraient permis d'établir une communication à 50 km.

Autres systèmes détecteurs. — Righi et Tuman ont essayé de réaliser des détecteurs dans le vide formés de deux fils de platine très rapprochés et soudés dans une ampoule à vide. L'un de

(1) *Comptes rendus*, t. CXXVIII ; 15 mai 1899.

(2) *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 904.

(3) Du Moncel, *Journal de Physique*, t. VII, p. 219.

(4) *L'Éclairage Électrique*, n° 16 du 21 avril 1900.

nous (¹) a expérimenté dans le même but un tube de Geissler, à larges électrodes presque en contact, combiné, non plus comme les précédents, avec un relais, mais avec un téléphone. La pile doit être insuffisante pour rompre seule la résistance du tube à vide, mais suffisante pour produire un courant à chaque passage d'un courant oscillatoire qui établit une effluve entre les électrodes. Ces dispositifs donnent des signaux à faible distance, mais ils manquent jusqu'ici de sensibilité comparés aux cohéreurs.

Anticohéreurs de Neugswender et de Schafer (²). — M. Neugschwender est parvenu à constituer un détecteur d'ondes en intercalant dans un circuit comprenant une pile et un galvanomètre un fragment de glace dont on a séparé l'argenture en deux parties par une fente étroite. Une certaine largeur est nécessaire pour éviter que le détecteur ne fonctionne comme cohéreur. Si l'on souffle sur la fente ou qu'on la place dans le voisinage d'un électrolyte liquide, la couche très fine de vapeur ou de buée qui se dépose forme conducteur et le galvanomètre dévie. Il revient à zéro si l'on produit des ondes dans le voisinage ; les ondes cessant, le galvanomètre dévie de nouveau, d'où le nom d'*anticohéreur*. On peut entretenir la conductibilité du détecteur en plaçant près de lui un chiffon mouillé ou une cuve pleine. Les trépidations, vibrations acoustiques, élévations de température, électricité statique sont sans influence sur l'instrument.

La résistance ohmique à l'état normal est de 50 ohms et monte brusquement à 8000 ou 9000 ohms sous l'action des ondes.

L'auteur du procédé a expliqué que le phénomène était dû à ce qu'il se forme entre les deux parties de l'argenture, sous l'effet de l'électrolyse, des filaments métalliques qui se rompent sous l'action des ondes électriques. Il est également possible que les oscillations arrêtent simplement les ions dans leur transport à travers l'électrolyte, car l'un de nous a constaté le même phénomène entre deux fils plongés dans une cuve électrolytique.

M. Beler Schaffer a perfectionné et rendu pratique ce dispositif au point d'obtenir des communications avec des antennes de 30 m jusqu'à plus de 60 km.

Emploi du téléphone. — L'un de nous a signalé qu'il serait très avantageux d'employer le téléphone comme appareil récepteur en combinaison avec des appareils précédents, notamment les détecteurs et anticohéreurs.

Il y a plusieurs années que MM. Colson et Narkevitsch Jodko ont indiqué l'emploi du téléphone pour déceler les ondes électriques. Mais les résultats obtenus par ce moyen nous paraissent bien incertains, car le téléphone est aussi actionné à distance, par induction ordinaire, même en circuit ouvert, par des courants vibrés à haut potentiel comme ceux que produisent les bobines d'induction. C'était le principe du dispositif d'Édison rappelé plus haut.

Il y aurait donc doute sur la cause de son rendu par le téléphone. Le peu de sensibilité qui aurait été reconnu pour cet usage proviendrait probablement du faible rayon d'action de ces courants vibrés.

Il n'en est pas de même si, comme l'a proposé l'un de nous (³), on intercale le téléphone dans un circuit contenant une pile et un détecteur ou un cohéreur décohérent. On arrive, par ce procédé, à obtenir des sons dans le téléphone, alors que celui-ci est placé en dehors de la zone d'action des courants vibrés. On est donc certain que son fonctionnement est dû à l'action des ondes sur le détecteur. Etant donnée l'extrême sensibilité du téléphone, on peut employer des cohéreurs décohérents à tension critique très basse.

Systèmes de syntonie. — Un des graves inconvénients que l'on reproche à la Télégraphie sans fil, et qui l'empêche d'enter dans le domaine réel de la pratique, consiste en ce fait qu'avec les appareils ordinaires décrits plus haut il n'est pas possible d'obtenir dans une même station deux communications indépendantes, tout récepteur placé dans le rayon d'action d'un transmetteur étant actionné par les ondes émises par celui-ci.

(¹) Pli cacheté du 16 août 1898 et *Comptes rendus*, 21 mai 1900.

(²) *Wiedmann's Ann.*, t. LXVII, p. 430 et t. LXVIII, p. 92.

(³) *Loc. cit.*

Divers systèmes basés sur des principes différents ont été proposés dans le but d'éviter cet inconvénient.

Système Lodge-Muirhead (¹). — En se basant sur l'analogie que présentent à certains points de vue les oscillations électriques et les ondes sonores, MM. Lodge et Muirhead ont essayé d'obtenir une résonance électrique entre les circuits émetteurs et récepteurs. Ils rendent pour cela le radiateur et le collecteur indépendants des autres appareils et agissent sur leur période $T = 2\pi\sqrt{LC}$, en modifiant la self-induction L au moyen d'une bobine de self à nombre de spires variable.

Système Marconi. — M. Marconi, sans rien changer à l'installation de ses stations décrites plus haut, agit à la fois, pour obtenir la résonance, sur la capacité et la self, en plaçant parallèlement à l'antenne un large filet métallique relié à la terre à l'une de ses extrémités, et en embrochant sur l'antenne une bobine de self variable.

Bien que M. Shaw (*Société de Physique de Londres*, 23 mars 1900) ait fait des expériences montrant qu'il est possible d'obtenir un effet maximum en agissant sur la capacité et la self, cette méthode n'a pas eu de résultats bien probants, par suite du fait que les oscillations de l'antenne d'émission sont très vite amorties et n'ont pas le temps de donner lieu à l'établissement d'une véritable résonance au poste transmetteur.

Système Blondel. — L'un de nous a indiqué, dès 1898 (²), un autre procédé de synchronisation qui consiste à accorder ensemble, non plus les fréquences des oscillations électriques propres du transmetteur et du récepteur, mais des fréquences artificielles beaucoup plus basses, tout à fait arbitraires et indépendantes des antennes, à savoir la fréquence des charges de l'antenne et celle des vibrations d'un téléphone sélectif tel que les monotéléphones de M. Mercadier.

Il suffit de maintenir la fréquence de l'interrupteur bien constante et égale à la fréquence propre du récepteur.

On peut employer, associé au téléphone, comme on l'a vu plus haut, un détecteur anticohéreur ou un cohéreur à décohérence spontanée, tel que ceux au charbon de M. Tommasina.

Chaque groupe d'ondes de haute fréquence, rapidement amorties, agit en bloc comme une simple percussion sur le téléphone a vibration lente : celle-ci reste d'ailleurs sensiblement sinusoïdale, grâce à l'inertie.

On peut enfin, dans le récepteur, remplacer l'élasticité mécanique par une élasticité électrique, en ajoutant en dérivation une capacité telle que le circuit formé par le tube, le téléphone et le condensateur soit alors en résonance ou plutôt en pseudo-résonance avec le poste d'émission, et l'on peut en tirer parti soit pour sélectionner les signaux avec un téléphone quelconque, soit pour renforcer l'effet sélectif d'un monotéléphone de même fréquence.

S'il y a plusieurs récepteurs dans un même poste, il sera plus avantageux de les monter chacun sur une antenne différente.

D'autres inventeurs ont proposé, d'une façon qui paraît encore bien prématurée, l'emploi de dispositifs de Télégraphie multiple du genre Baudot, qui ne résolvent pas, du reste, le même problème (³).

Enfin, M. Guarini Foresio, à côté de théories erronées, a indiqué un système de relais automatique dont on ne connaît pas encore les résultats.

Conclusions. — Perfectionnements désirables. — En résumé, à peine créé par les efforts successifs des savants cités dans l'historique et rendue pratique par M. Marconi, la Télégraphie sans fil a reçu de nombreux perfectionnements de détails, qui ont eu pour effet d'accroître énormément les portées réalisées, surtout en mer.

(¹) *The Electrical Review*, t. XLII; 19 août 1898.

(²) Pli cacheté 6041 du 16 août 1898 et *Comptes rendus* du 21 mai 1900.

(³) Nous ne citerons aussi que pour mémoire les ingénieux dispositifs de M. Turpain pour la télégraphie multiple syntonique par ondes hertziennes le long des fils des lignes télégraphiques ordinaires (Cf. *Comptes rendus*, 1899).

Mais, sur terre, ces portées sont encore insuffisantes pour faire concurrence à la Télégraphie optique et, sur mer, l'utilité de ce genre de signaux est très restreinte par suite de l'impossibilité de les séparer si l'on emploie des cohéreurs ordinaires très sensibles. Les cohéreurs décohérents et les anticohéreurs, combinés avec le système de pseudo-syntonie, ouvrent des horizons nouveaux, mais la sensibilité est jusqu'ici plus restreinte et les effets sont encore trop peu nombreux pour permettre de juger l'avenir réservé à ce procédé.

C'est de ce côté qu'il semble le plus urgent de porter les efforts pour donner à la Télégraphie sans fil toute sa valeur.

On peut désirer aussi actuellement voir perfectionner encore les appareils, notamment les bobines, interrupteurs, relais, et surtout les appareils récepteurs nouveaux (détecteurs, anticohéreurs, etc.) qui n'exigent pas l'intervention d'un frappeur.

SUR LES COHÉREURS DÉCOHÉRENTS ET SUR UN ESSAI DE THÉORIE DES COHÉREURS EN GÉNÉRAL, par G. Ferrié, capitaine du Génie.

Pour éviter l'inconvénient des cohéreurs à limailles métalliques qui conservent leur cohérence après qu'on les a soustraits à l'action des ondes électriques, M. Tommasina a étudié un modèle de cohéreur à granules de charbon comprises entre deux électrodes métalliques, dont la cohérence cesse en même temps que sa cause [1].

Nous avons répété les expériences de M. Tommasina et en avons réalisé quelques autres qui sont relatées ci-après. Elles nous ont conduit à proposer pour expliquer les divers phénomènes constatés, une théorie qui sera exposée à la suite de la description des expériences.

Expériences. — Les expériences faites ont porté sur l'action des ondes hertziennes sur la conductibilité d'un contact imparfait entre deux corps conducteurs plongés dans l'air : charbon-charbon (I), charbon-métal (II), métal-métal (III), métal-liquide conducteur (IV). Les mêmes expériences ont été faites, les corps conducteurs étant plongés dans du pétrole (V). Quelques-unes ont, en outre, été répétées dans le vide (VI).

Le dispositif employé était le suivant :

Le contact à étudier était intercalé dans un circuit contenant un élément de pile 1,5 volt, un milliampèremètre (qui a été remplacé parfois par un dimilliampèremètre) et le primaire d'une petite bobine d'induction de poste microtéléphonique. Le secondaire de cette bobine était fermé sur un écouteur téléphonique très sensible.

Ce dispositif était soumis à l'action d'ondes hertziennes produites par une petite étincelle de sonnerie de 50 ohms actionnée par deux éléments. Les résultats observés ont été ensuite vérifiés sous l'action des ondes employées en télégraphie sans fil.

I. — Le contact charbon-charbon donne bien le phénomène signalé par Hughes, puis par M. Tommasina, mais sa faible sensibilité est assez variable et présente un maximum pour une conductilité déterminée. De plus on peut produire la cohérence persistante en le soumettant à l'action d'ondes énergiques.

II. — Le contact charbon-métal est plus sensible que le précédent, et les variations de résistance, produites par l'action des ondes, plus intenses. Il y a avantage à ne mettre en circuit que le plus petit nombre possible de points de contact. Les expériences ont été faites avec des contacts uniques et avec des doubles contacts : grain de charbon compris entre deux électrodes métalliques ou inversement. Le charbon qui a donné les meilleurs résultats est celui fabriqué en grains polis par la Société « Le Carbone » pour ses microphones ; un grain de 1 mm 1/2 environ, était maintenu dans un tube de verre entre deux électrodes métalliques.

Les métaux essayés successivement en contact avec le charbon étaient : platine, or, argent,

[1] M. Popoff a fait également une application pratique d'un cohéreur analogue (Congrès International d'Électricité de 1900).

nickel, cuivre, zinc, plomb, étain, fer, acier, laiton, maillechort. Tous ont donné des résultats satisfaisants et supérieurs à ceux obtenus avec le contact charbon-charbon.

Il a été constaté que l'intensité des sons perçus dans les téléphones sous l'action des ondes hertziennes dépendaient des faits suivants :

1° Intensité du courant passant au repos dans le contact imparfait ;

2° Nature du métal employé ; et dans une certaine mesure :

3° Distance du point de production des ondes hertziennes.

1° *Intensité du courant.* — Il est nécessaire que le contact présente au repos une certaine conductibilité ; l'intensité du courant qui a paru le plus favorable est inférieure à un milliampèremètre, c'est-à-dire que la résistance du contact doit être comprise entre 1 000 et 25 000 ohms. Si cette résistance est supérieure, les sons perçus sont de plus en plus faibles à mesure que la résistance diminue et finissent par disparaître complètement pour des résistances variables avec le métal employé. Si la résistance est inférieure, les sons perçus sont encore nets, mais il arrive parfois que la conductibilité cesse brusquement et que l'on ne perçoit plus alors aucun son. Dans le cas d'une conductibilité nulle au repos, le contact peut fonctionner d'une façon irrégulière sous l'action d'ondes énergiques et même acquérir une cohérence persistante.

Lorsqu'on effectue le réglage de la conductibilité du contact, on constate qu'il existe pour chaque position des conducteurs, une certaine valeur de la conductibilité qui paraît correspondre à un équilibre stable. L'aiguille de l'ampèremètre, après un certain nombre de déplacements dans les deux sens, revient à une certaine position. On peut obtenir par tâtonnements une résistance quelconque du contact comprise entre dix ohms et plusieurs milliers d'ohms.

Si l'on intercale dans le circuit deux éléments de pile, au lieu d'un seul, le réglage de la conductibilité est plus difficile à établir, il faut d'assez longs tâtonnements, et ce réglage est moins stable. Mais les résultats sont analogues en ce qui concerne l'influence de la conductibilité. Il n'a pas été possible d'obtenir un réglage avec trois éléments.

2° *Nature du métal employé.* — Les résultats obtenus avec les différents métaux sont comparables. Cependant les variations de résistance du contact et par suite les sons perçus dans le téléphone, sont plus ou moins intenses, toutes choses égales d'ailleurs, suivant les métaux. Le zinc et les alliages de zinc : laiton, maillechort, donnent les sons plus intenses. Le nickel et le platine donnent des résultats plus réguliers. Viennent ensuite le plomb, l'or, l'argent, le cuivre, l'étain, le fer et l'acier.

Le degré d'oxydation des surfaces a une notable influence sur la sensibilité du contact, les meilleurs effets étant obtenus lorsque le métal est bien décapé.

3° *Distance du point de production des ondes.* — L'influence de cette distance sur l'intensité du son produit dans le téléphone est très faible pour certains métaux. Pour le zinc notamment, le son conserve à peu près la même intensité jusqu'à ce qu'il cesse brusquement, lorsqu'on éloigne progressivement l'étincelle excitatrice.

La distance à laquelle il est possible de placer cette étincelle varie avec la conductibilité du contact et avec la nature du métal. La résistance du contact qui donne, à ce point de vue, les meilleurs résultats, paraît être de 20 000 ohms environ pour tous les métaux.

Le zinc est le métal qui a permis d'atteindre la plus grande distance : on percevait des sons très nets dans le téléphone, alors que des cohéreurs ordinaires très sensibles placés à la même distance, n'étaient pas influencés. Mais cette grande sensibilité cesse parfois brusquement, sans raison apparente, et ne peut plus être obtenue que par de longs tâtonnements. Ce fait peut-être attribué à l'altération des surfaces des conducteurs en contact imparfait ou bien à ce que l'un des deux contacts (ce résultat ayant été obtenu avec un cohéreur à double contact) ne remplit plus les conditions voulues à un moment donné.

Des faits analogues ont été constatés avec d'autres métaux, mais à un degré moindre.

Les résultats moyens les meilleurs ont été donnés, au point de vue de la sensibilité à distance, par le contact nickel-charbon, et le contact platine-charbon.

Si l'on rapproche très près l'étincelle excitatrice, la distance du contact diminue sensiblement

et le son devient plus énergique. Mais à une certaine limite, la résistance s'abaisse brusquement et la cohérence devient persistante.

III. — Les mêmes propriétés ont été constatées pour le contact imparfait de deux métaux, établi de telle sorte que ce contact ait, au repos, une certaine conductibilité comme dans le cas des contacts métal-charbon.

Mais le réglage de cette conductibilité est très long à opérer sous un voltage de 1,5 volt, et de plus il est assez rapidement détruit surtout avec certains métaux. Il a néanmoins été possible de conserver le réglage pendant un assez long temps, pour un fragment de mousse de platine compris entre électrodes de zinc. La sensibilité était très grande et les sons intenses. Ceux-ci étaient perçus dans le téléphone alors que le plus sensible cohéreur ordinaire dont nous disposions n'était pas actionné.

Un cohéreur ordinaire réglable, du système Blondel, à limailles de nickel comprises entre électrodes d'argent, a pu également conserver son réglage en cohéreur décohérant, pendant un certain temps.

Le peu de durée du réglage du contact des divers métaux n'a pas permis d'apprécier d'une façon approchée leur sensibilité relative.

Dès que l'action des ondes devient trop énergique, il se produit une cohérence persistante.

L'emploi d'un faible voltage dans le circuit permet de faciliter le réglage et de lui donner une plus grande stabilité.

IV. — Le même effet de cohérence décohérante a été constaté au contact d'un fil métallique et d'un liquide conducteur, eau acidulée, contenue dans un tube de verre de faible diamètre, et placé dans les mêmes conditions que précédemment. Toutefois, la sensibilité de ce contact est très notablement inférieure à celle obtenue dans les expériences exposées plus haut. Le maximum de sensibilité étant obtenu lorsque la résistance du contact imparfait était de 2000 ohms environ, et que l'extrémité du fil métallique affleurait à peine le ménisque du liquide. Les résultats obtenus étaient meilleurs avec un fil de cuivre, attaqué par l'eau acidulée, qu'avec un fil de platine.

V. — Les contacts charbon-métal, métal-métal plongés dans du pétrole nous ont donné des résultats absolument comparables à ceux obtenus dans l'air, avec un peu moins de sensibilité peut-être. Cependant le contact zinc-mousse de platine nous a paru excellent.

VI. — Les quelques essais tentés avec des contacts dans le vide n'ont donné aucun résultat. Il est vrai que le réglage de la conductibilité est rendu très difficile. De plus les effets constatés n'auraient pas été absolument probants, car il a été démontré qu'il reste toujours une couche d'air adhérente aux corps plongés dans un espace où l'on fait le vide.

En résumé,

Deux corps conducteurs quelconques peuvent être placés en contact imparfait tel que l'action des ondes hertziennes produise des variations faibles de la résistance de ce contact, suivant le rythme de l'interrupteur de l'appareil producteur d'ondes, et la résistance revenant à sa valeur initiale quand le contact est soustrait à l'action des ondes. Tout se passe comme si chaque série d'ondes produisait dans le circuit une résistance négative.

Essai de théorie. — Le fonctionnement des cohéreurs ordinaires et des cohéreurs décohérants décrits ci-dessus nous paraissent pouvoir être expliqués, en s'appuyant sur les hypothèses suivantes :

Lorsque deux corps conducteurs sont rapprochés de telle sorte qu'une mince couche de diélectrique soit comprise entre les points les plus voisins de leur surface et que l'on porte ces deux corps à deux potentiels différents le condensateur de faible capacité ainsi formé, *crèvera* lorsque la différence de potentiel atteindra une certaine valeur qui dépend de la nature du diélectrique, de son épaisseur et des corps conducteurs ; une étincelle jaillit et des particules des corps conducteurs entraînées par elle pourront former un pont entre les deux surfaces et établir entre elles une continuité qui sera détruite par le moindre choc.

Si l'on rapproche encore davantage les corps conducteurs, on peut admettre, qu'avant l'établissement du contact absolu entre leurs surfaces, surtout si celles-ci sont presque planes dans le

voisinage du point de contact, ils peuvent être placés dans une position telle que le diélectrique soit refoulé en dehors des points des surfaces les plus voisins, produisant ainsi une petite gaine vide entre les deux conducteurs.

Si l'on intercale alors le contact dans un circuit contenant une faible force électromotrice, il se produira, entre les deux conducteurs, une effluve remplissant le chenal vide, et un instrument de mesure indiquera une certaine conductibilité du circuit.

Si l'on augmente progressivement la force électromotrice, l'effluve renforcée agrandira le chenal jusqu'à ce que l'élasticité du diélectrique et son adhérence aux corps conducteurs s'opposent à cet élargissement. A ce moment, si la différence de potentiel continue à augmenter, une étincelle disruptive se produira comme dans le cas ordinaire.

On peut aussi former ce chenal de la manière suivante : les deux surfaces ayant été placées de manière que la couche de diélectrique comprise entre elle soit très mince et continue, on provoque par une charge convenable la production de l'étincelle et l'établissement d'un pont conducteur entre les deux, puis on annule la différence de potentiel entre les deux corps et on provoque la rupture du pont. Le diélectrique pourra ne pas réoccuper l'espace occupé auparavant par celui-ci, et le chenal se trouvera ainsi formé.

Ces divers faits sont plus ou moins nets suivant la nature du diélectrique et des corps conducteurs.

L'explication du fonctionnement des divers détecteurs d'ondes étudiés plus haut devient alors simple.

1° Dans le cas de cohéreurs ordinaires, à contact unique, par exemple, la mince couche de diélectrique comprise entre les deux conducteurs est continue et l'appareil fonctionne comme un condensateur, et ce que M. Blondel a appelé la tension critique de cohérance est la différence de potentiel que peuvent supporter les armatures du condensateur sans « crever » ; on conçoit l'influence de la pression des corps en contact imparfait, car la couche de diélectrique sera d'autant plus mince que la pression sera plus forte.

Lorsqu'on intercale l'appareil dans un circuit contenant une force électromotrice inférieure à cette tension critique, et qu'on le soumet à l'action d'ondes hertziennes, celles-ci auront pour effet d'établir entre les armatures une certaine différence de potentiel qui pourra s'ajouter à celle existant normalement et provoquer alors la décharge du condensateur.

On pourrait croire que la valeur de cette tension critique n'a pas d'importance et qu'il suffit que la force électromotrice du circuit soit légèrement inférieure à l'autre, l'action des ondes hertziennes fournissant le complément pour provoquer la décharge. Mais il est facile de se rendre compte qu'il n'en est pas ainsi et qu'il n'est pas possible d'obtenir un fonctionnement régulier lorsque la différence de potentiel établie normalement, par le circuit, entre les armatures du condensateur est assez élevée et peu inférieure à la tension critique. On est obligé, dans ce cas, pour avoir un bon fonctionnement, de placer dans le circuit une force électromotrice notablement inférieure à la tension critique, et la sensibilité de l'instrument s'en trouve fortement diminuée. Il y a donc avantage à employer des cohéreurs à basse tension critique.

On constate fréquemment que certains cohéreurs à limailles métalliques, malgré la suppression des ondes parasites et l'énergie des chocs, ne se décohèrent pas toujours au premier choc et que, lorsqu'ils se décohèrent au premier choc, leur sensibilité est, aussitôt après, notablement plus grande que quelques instants plus tard. On peut expliquer le premier fait en admettant que les petits condensateurs formés par les grains de limailles n'ont pas eu tout le temps de se décharger avant le choc et se déchargent après celui-ci, et le second en admettant que la décharge des mêmes petits condensateurs n'a pas été complète avant le choc et qu'ils conservent pendant un certain temps après, une charge qui augmente la sensibilité de l'instrument puisqu'elle diminue la différence de potentiel à créer par les ondes pour provoquer l'étincelle.

2° Dans le cas des cohéreurs décohérants, on constate qu'en fonctionnement régulier, les variations de résistance du contact imparfait suivent le rythme de l'interrupteur du producteur d'ondes. On peut admettre que chaque train d'ondes agit simultanément sur l'effluve dont il a été

parlé plus haut et que celle-ci s'élargit lorsque la différence de potentiel entre les conducteurs est augmentée par l'action du train d'ondes, et revient à son état normal, grâce à l'élasticité du diélectrique, lorsque cette action cesse. Chacun de ces élargissements est accompagné d'une diminution de résistance à laquelle correspond une augmentation d'intensité du courant, qui reprend sa valeur normale en même temps que l'effluve revient à l'état primitif.

Les variations constatées dans le fonctionnement de ces instruments proviendraient alors des variations de l'élasticité et de l'adhérence du diélectrique pendant le fonctionnement. Les différences de sensibilité suivant les corps employés proviendraient aussi des même causes [1].

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

GÉNÉRATION ET DISTRIBUTION

Le transport d'énergie de Skjnerscelven à Christiania. — D'après des renseignements communiqués par M. Thury.

La ville de Christiania possède une usine génératrice d'électricité dont la force motrice est empruntée à des moteurs à vapeur.

Soit par raison d'économie, soit que la distribution de lumière dans les quartiers excentriques ait pris une extension rapide, la ville

---

(1) Les hypothèses émises plus haut permettent aussi d'expliquer l'expérience ci-après, indépendante de l'action d'ondes hertziennes.

Si l'on remplace dans le dispositif ayant servi à faire les expériences décrites dans cette étude, le cohéreur à deux contacts par un cohéreur à contact unique formé d'un morceau de crayon de lampe à arc de un centimètre environ de diamètre dont la section a été polie, et d'un petit cylindre d'argent de 1 mm et demi environ de diamètre fixé au-dessus du charbon et mobile dans le sens de la hauteur au moyen d'une vis micrométrique à très large tête, et que l'on rapproche peu à peu les deux corps, on constate les faits suivants :

Il est possible, par tâtonnements, de donner à la résistance du contact une valeur quelconque. Lorsque cette résistance atteint une certaine valeur, il se produit une succession régulière et automatique de variations d'intensité du courant qui se traduisent par un son musical continu dans le téléphone. Pendant toute la production de ces interruptions régulières, l'aiguille du milliampèremètre paraît à peu près immobile et marque une intensité constante et égale à 5 centièmes d'ampères.

Le même effet a pu être produit en remplaçant l'argent par du zinc, du cuivre rouge, de l'acier, de l'or et du platine. Le son produit est variable avec le métal employé et la position d'équilibre que prend l'aiguille de l'ampèremètre. (Pour un même métal on peut obtenir plusieurs sons différents correspondant à des valeurs différentes de l'intensité). Avec un mince fil de platine, le son produit était le plus aigu, environ l'octave du « la » normal. L'intensité dans ce dernier cas était de 1,5 centième d'ampère seulement.

Nous avons essayé de réaliser le même phénomène au contact de deux métaux, nous y sommes parvenus avec un fil de platine sur une lame d'argent, mais la durée du son musical était très courte, une seconde à peine, alors que dans les expériences précédentes, le son pouvait durer aussi longtemps qu'on ne touchait pas au dispositif.

On peut parfois faciliter l'établissement des interruptions automatiques en frottant un corps léger sur la planchette support de l'appareil, qui se comporte d'ailleurs comme un microphone extrêmement sonore.

Ces expériences peuvent être expliquées de la manière suivante :

Lorsqu'on parvient à créer une gaine vide entre les deux conducteurs, l'effluve qui s'établit aussitôt a pour effet de diminuer la différence de potentiel entre les conducteurs, par suite de la diminution de résistance et en outre par la self-induction du circuit. Cette effluve tend donc à diminuer et, par suite, le diélectrique, en vertu de son élasticité, tend à resserrer la gaine vide dans laquelle elle se produit. Mais alors l'effluve diminuant, la différence de potentiel augmente, par suite de l'augmentation de résistance et de la self-induction. L'effluve augmente donc de nouveau et ainsi de suite. Il se produira donc une suite ininterrompue de pulsations régulières du diélectrique auxquelles correspondront une variation sinusoïdale de l'intensité du courant qui se traduira par un son musical du téléphone.

La même expérience peut être répétée en supprimant la bobine d'induction et en intercalant directement le téléphone dans le circuit du contact imparfait.

Le réglage est plus facile si l'on met deux écouteurs en série, au lieu d'un seul, aux bornes du secondaire de la bobine. On perçoit des battements dans le son, lorsque l'on met un troisième écouteur en dérivation sur les deux premiers.

de Christiania résolut d'utiliser la chute d'eau dont elle disposait à Skjnerscelven situé à environ 10 km de la ville.

Le débit de la rivière à cet endroit s'élève à 2,5 m³ par seconde et la chute disponible est de 100 m.

Le projet demandé par la ville de Chistiania prescrivait simplement une usine génératrice avec 6 groupes hydro-électriques dont 2 ne seraient toutefois installés que plus tard ; toute latitude était laissée aux constructeurs quant au choix du système de transport. Dans ces circonstances, la Compagnie de l'Industrie électrique à Genève présenta deux projets bien distincts : l'un à courant continu, basé sur le système « série » bien connu de M. Thury, l'autre à courants diphasés, à conducteurs de retour commun. C'est à ce dernier système que fut donnée la préférence.

Nous allons exposer ci-dessous très succintement la manière dont fut réalisé ce transport d'énergie en donnant cependant quelques détails plus complets sur les points spéciaux qui caractérisent l'installation secondaire.

Usine génératrice. — Ainsi que nous le disions tout à l'heure, l'usine génératrice est composée momentanément de 4 groupes hydro-électriques de 600 chevaux chacun. Les turbines, à axe horizontal, sont construites pour une vitesse angulaire de 350 tours par minute et ont été livrées par les ateliers de construction Jensen et Dahl à Christiania. Elles sont accouplées directement par manchon Raffard aux génératrices diphasées. Ces dernières ne présentent rien de nouveau en ce qui concerne leur construction. Les figures 1 et 2 en représentent des coupes et des vues partielles.

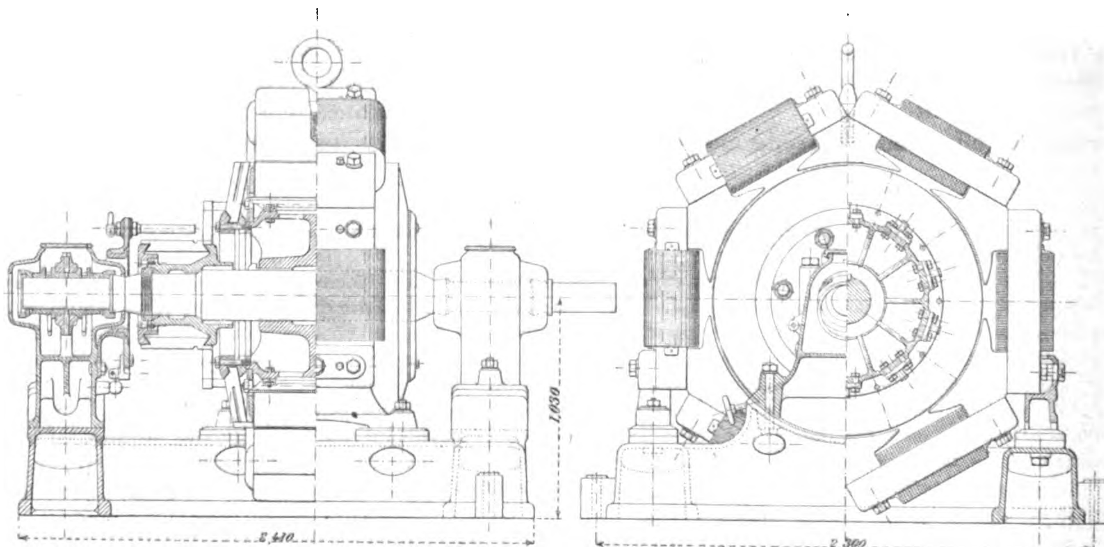


Fig. 1 et 2. — Alternateurs à courants diphasés Thury.

La puissance apparente de chaque alternateur est de 460 kilovolts-ampères et la puissance vraie ($\cos \varphi = 0,9$ environ) de 410 kilowatts. La tension est de 5 000 volts par phase, les deux phases ont un pôle commun. La fréquence est de 46,66 périodes par seconde.

Ces alternateurs sont à pôles séparés ; ceux-ci sont constitués par des paquets de tôles feuilletés fixés à une couronne de fonte à l'aide de boulons vissés dans une clavette à section rectangulaire.

La couronne inductrice est fixée à la lanterne d'inducteur à l'aide de 8 boulons.

Le découpage des tôles est tel que l'entrefer aille en augmentant depuis l'axe d'un pôle jusqu'à l'extrémité des cornes polaires de façon à rendre la courbe de la tension aussi voisine de la sinusoïde que possible.

L'enroulement des 12 pôles est fait en fil carré dont l'emploi est justifié par la vitesse circonférentielle qui est de 27 m par seconde.

Les tôles induites disposées en deux paquets

et serrées à l'aide de boulons sont retenues à la carcasse extérieure par des clavettes fixées après des nervures.

L'enroulement est disposé dans 64 encoches à demi ouvertes ; chaque phase a ainsi deux rainures par pôle portant une bobine soigneusement isolée.

Le diamètre d'alésage de l'induit est de 150 cm.

Le courant nécessaire à l'excitation de ces générateurs est fourni par 2 groupes de 50 kilowatts chacun, disposés pour travailler en parallèle, mais dont l'un seulement est affecté au service régulier, l'autre tenant lieu de réserve.

Le courant d'excitation à vide est de 17,3 ampères et le courant d'excitation nécessaire pour produire l'intensité normale en court-circuit de 6 ampères. La chute de tension de ces machines est donc assez faible.

L'excitation en pleine charge avec un facteur de puissance voisin de l'unité n'est que de 4 p. 100 supérieur à celle nécessaire à vide.

La mise en parallèle des alternateurs se fait à la manière ordinaire, c'est-à-dire qu'ils sont amenés à leur tension de régime et couplés au moment de la concordance de phase. Pour se rendre compte de cette concordance, chaque alternateur a son transformateur de mise en phase spécial dont le secondaire est relié à deux rails communs et sur lequel sont placés un voltmètre en dérivation et une lampe témoin en série. L'interrupteur de la machine est fermé lorsque la lampe reste allumée.

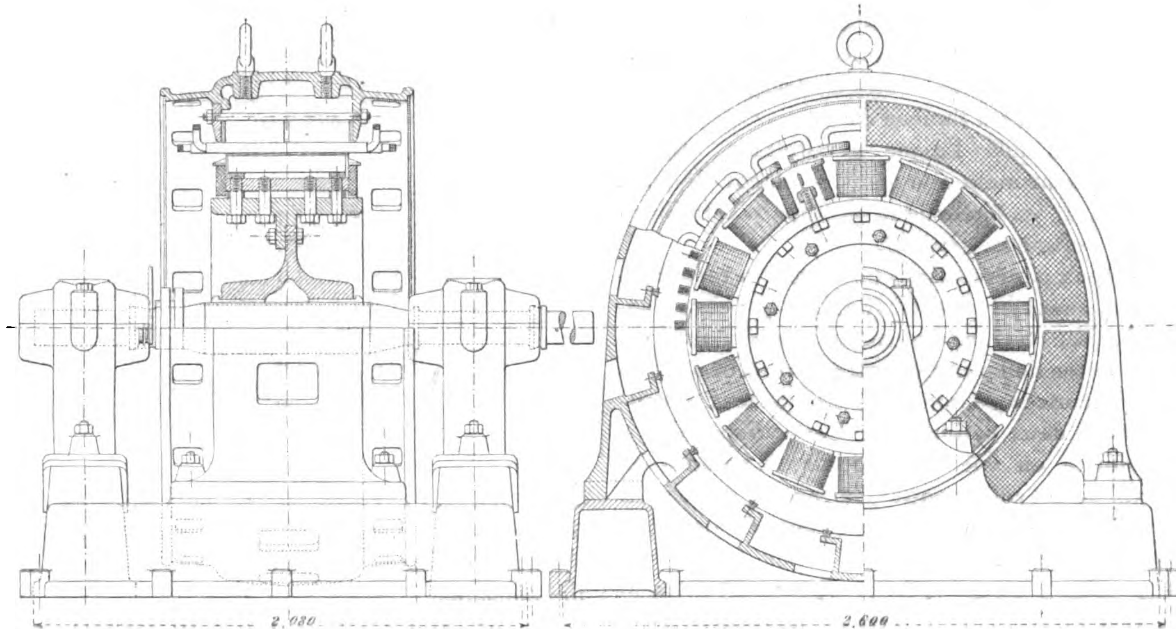


Fig. 3 et 4. — Dynamo Thury pour traction.

Un transformateur analogue, alimenté par un courant pris sur les rails de départ, fournit le courant à un voltmètre général qui reste en permanence dans le circuit.

Enfin, un transformateur de 4 kilowatts sert à l'éclairage de l'usine.

Ligne de transport. — La ligne destinée à transmettre l'énergie à Christiania est double. Elle est aérienne sur une longueur de 8 km et souterraine sur 1,5 km de son parcours. Les deux fils de retour communs ont un diamètre de 8,2 mm et les 4 autres de 6,9 mm seulement.

Les deux câbles souterrains sont composés chacun de 3 câbles dont un de 85 mm² de section et 2 de 60 mm². Chaque fil est protégé au départ et à l'arrivée par un parafoudre automatique à levier mobile en aluminium et à pointes en charbon.

Station réceptrice. — La station réceptrice comprend 4 groupes convertisseurs de courant diphasé en courant continu dont deux peuvent

être utilisés à volonté pour actionner les tramways urbains ou l'éclairage tandis que les deux autres sont destinés exclusivement à la traction.

Les réceptrices sont des moteurs synchrones du même modèle que les génératrices primaires. Ils sont lancés à leur vitesse de régime par les génératrices auxquelles ils sont accouplés et qui tournent pour cette opération en moteurs. Ces génératrices sont naturellement pourvues d'un rhéostat de mise en marche et leur excitation a lieu soit par la batterie tampon du réseau de tramways, soit par le courant venant de l'ancienne station centrale. Les deux stations, distantes de 1 500 m, sont reliées par câble spécial et pourraient se soutenir réciproquement en cas d'accident à l'une d'elles.

De même qu'à l'usine génératrice, chaque moteur synchrone a son transformateur de mise en phase. Il y a également un appareil similaire pour le voltmètre général.

Les deux génératrices alimentant le réseau de tramways sont du type HF (fig. 3 et 4) ; elles peuvent débiter chacune un courant de 550 ampères sous une tension variant entre 580 et 650 volts. Les deux autres génératrices sont à deux enroulements et deux collecteurs. Cette disposition a été choisie en vue de produire à volonté du courant à 250 volts pour l'éclairage ou à 500 volts (en couplant les deux enroulements en tension) pour la traction.

Un commutateur spécial opère à la fois le couplage en série ou en parallèle des deux enroulements en les commutant aux rails correspondants du tableau général de distribution. Toute fausse manœuvre est donc écartée. L'excitation de ces machines est prise sur les rails du réseau d'éclairage.

Il est évident qu'en temps normal ces groupes ne travailleront que sur le réseau d'éclairage. L'accouplement en tension des bobinages n'a été prévu que pour parer à l'éventualité d'un accident au deux groupes 580-650 volts destinés exclusivement à la traction.

En outre du matériel ci-dessus, la station réceptrice comprend un groupe survolteur composé d'un moteur, type C 7, absorbant 48,5 ampères sous 580 volts, et d'une dynamo survoltrice du même type pouvant fournir un courant de 500 ampères sous 52,5 volts, réunis sur bâti commun.

Le but de ce survolteur est de permettre la charge complète d'une batterie tampon, tout en maintenant parfaitement constante la tension du réseau de distribution, d'après le système Thury.

Lorsque la batterie passe brusquement du régime charge au régime décharge, les variations de voltage correspondantes sont corrigées sans retard indépendamment du débit et du degré de charge ou de décharge de la batterie.

Ce résultat est obtenu de la façon la plus simple par l'application d'un régulateur automatique spécial (fig. 5) agissant sur l'excitation

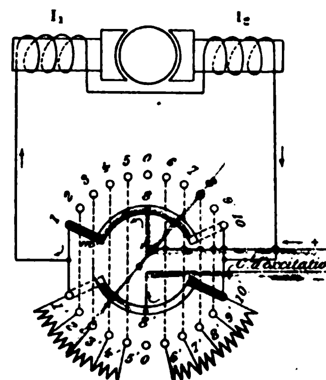


Fig. 5.

de la dynamo survoltrice. Le courant d'excitation est dérivé sur le réseau, c'est-à-dire branché sur les barres omnibus de départ, à potentiel constant.

Le régulateur automatique agit sur une double rangée de touches correspondant à une résistance calculée de telle sorte que l'excitation puisse descendre du maximum à zéro, en suivant une échelle donnant un effet proportionnel au déplacement de la touche mobile. La coupure du courant se fait lorsque le courant est réduit à un minimum très faible, et une résistance sans self-induction laisse passer l'extra-courant ; cette précaution évite l'étincelle de rupture. La double rangée de touches a pour but de permettre l'inversion complète du sens de l'excitation, celle-ci passant ainsi graduellement d'un maximum positif à zéro et de zéro graduellement au maximum négatif, ce qui double la puissance régulatrice de la survoltrice.

Le régulateur lui-même est actionné directement par un petit moteur. Son fonctionnement est entièrement mécanique, c'est-à-dire qu'il ne

dépend pas de relais à contacts ; ces derniers sont complètement supprimés, le voltmètre déterminant la régulation agit directement, et sans aucun effort, sur un système de déclic à double action.

La sensibilité du réglage peut être aussi grande que l'on veut, ce n'est qu'une question de choix du ressort antagoniste. On la limite ordinairement à 1 p. 100, soit 1/2 p. 100 en plus et en moins.

Les avantages caractéristiques de cette disposition sont :

1° Réduction du nombre des éléments composant la batterie ;

2° Les éléments de réserve disparaissant complètement, tous les accumulateurs sont soumis au même régime, ce qui simplifie la surveillance de la charge.

3° Suppression de l'adjoncteur-réducteur d'éléments avec ses nombreuses connexions.

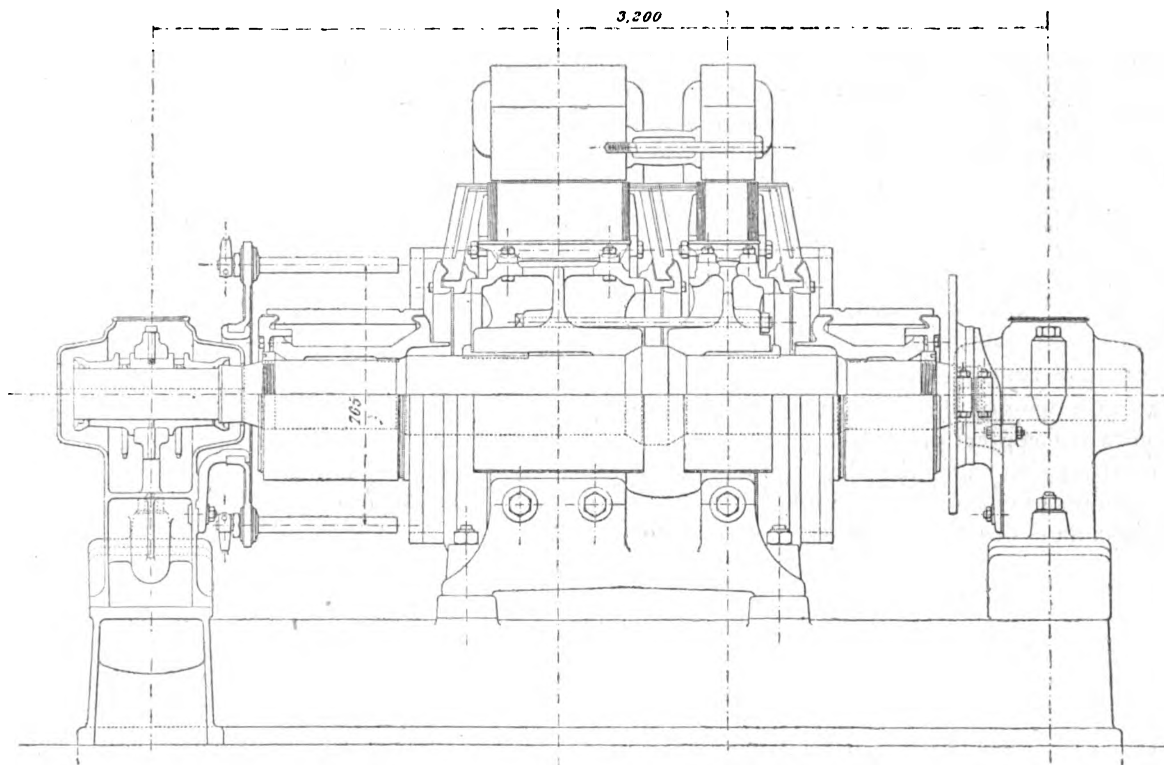


Fig. 6. — Groupe transformateur de 400 kilowatts.

Un groupe transformateur de 400 kilowatts (fig. 6) a été installé à l'usine réceptrice dans le but d'abaisser la tension du courant destiné à la traction de 580 volts à 250 volts et servir de secours à la station à vapeur. En cas d'arrêt complet du transport de force, ce groupe travaillerait en sens contraire et fournirait le courant aux tramways. Il s'agit donc dans un cas de *dévolter* et dans l'autre de *survolter*.

Ce résultat peut être obtenu avec une seule dynamo (représentée sur la figure), à deux enroulements induits capables d'absorber ou de produire 250 et 320 volts, mais ce système ne permettrait aucun réglage de la tension secondaire, laquelle varierait dans d'assez grandes limites en fonction de la charge du transformateur. C'est dans le but de parer à cet inconvénient que l'on a calé sur l'arbre de la même machine un deuxième induit de plus petite dimension ayant son système inducteur tout à fait indépendant et dont l'enroulement est formé par le prolongement de l'un des enroulements induits. Il devient alors facile en agissant sur le champ de cette machine de faire varier dans une certaine mesure le rapport entre les tensions que produisent les deux enroulements.

L'induit principal porte un enroulement à

250 volts composé de barres noyées dans des rainures, et un deuxième enroulement composé du même nombre de barres, de même section, mais se prolongeant sur l'induit de réglage. Ce dernier étant déterminé pour 70 volts, la tension totale produite par le deuxième enroulement induit sera de $250 + 70 = 320$ volts.

Ces deux enroulements, sont toujours accouplés en tension ; ils deviennent l'un moteur et l'autre générateur ou vice-versa suivant que l'on survolte ou que l'on dévolte.

Les excitations sont indépendantes et peuvent être prises, à l'aide d'un commutateur, soit directement sur la ligne à 250 volts, soit, à travers deux résistances fixes, sur la ligne à 580 volts.

Cette disposition a été adoptée pour permettre la mise en service du transformateur dans le cas où le service serait complètement arrêté sur l'un ou l'autre des réseaux.

Telles sont les dispositions particulièrement intéressantes et très simples qui ont été proposées par la Compagnie de l'Industrie électrique de Genève et acceptées par la ville de Christiania.

L'installation en service depuis quelques mois fonctionne à l'entière satisfaction de la ville de Christiania et des constructeurs. J. R.

MESURES

Compensation de deux erreurs des wattmètres, par **L. Kallir**. *Zeitschrift für Elektrotechnik*, t. XVIII, p. 233, 6 mai 1900.

Dans les wattmètres, on peut presque toujours admettre qu'il y a proportionnalité entre

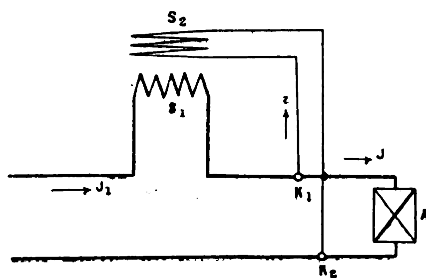


Fig. 1.

la puissance E à mesurer et l'angle de torsion α. Mais cela n'est pas absolument rigoureux. D'abord, pour les courants alternatifs on néglige ainsi l'effet de la self-induction de la bobine ; en outre, dans l'un des montages possibles (fig. 1) la bobine fixe S_1 parcourue par le courant I de l'appareil d'utilisation A est aussi parcourue par le courant i de la bobine mobile S_2, dans l'autre montage (fig. 2), la bobine mobile S_1

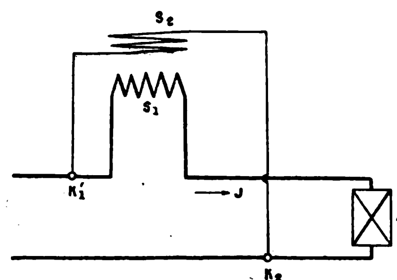


Fig. 2.

est soumise non pas à la tension Δ de l'appareil d'utilisation, mais à une différence de potentiel Δ_1 égale à la somme de Δ et de la chute ohmique dans la bobine à gros fil.

Dans le premier cas on a

$$(I + i)i = K\alpha$$

Si R_2 est la résistance de la bobine mobile et de la résistance de protection, on a

$$i = \frac{\Delta}{R_2}$$

(en supposant toutefois pour le courant alternatif que la réactance de la bobine mobile est négligeable devant sa résistance). Donc

$$I\Delta + \frac{\Delta^2}{R_2} = K.R_2\alpha.$$

De même pour le deuxième cas, si on appelle R_1 la résistance de la bobine fixe S_1, on a

$$I.\frac{\Delta + IR_1}{R_2} = K\alpha.$$

$$I.\Delta + I.^2R_1 = K.R_2\alpha.$$

Donc dans le premier cas, on néglige la puissance consommée dans la bobine mobile et dans le deuxième cas, on néglige la puissance de la bobine fixe.

Avec les bons instruments, l'erreur est petite si on a soin de déterminer dans chaque cas quel montage est préférable. C'est cette détermination que les instruments compensés permettent de laisser de côté. L'erreur maximum a lieu lorsque les deux montages donnent lieu à

la même erreur.

$$I^2R_1 = \frac{\Delta^2}{R_2}$$

L'erreur relative est alors de

$$f = \frac{I_2R_1}{I\Delta} = \frac{\frac{\Delta^2}{R_2}}{\Delta\sqrt{\frac{1}{R_1R_2}}\Delta} = \sqrt{\frac{R_1}{R_2}}$$

Calculons la grandeur de cette erreur pour un wattmètre de Ganz. L'instrument a deux bobines fixes : l'une avec 4 spires de résistance $R'_1 = 0{,}0017\ \omega$, l'autre avec 36 spires de résistance $R''_1 = 0{,}0292\ \omega$. La bobine mobile a 85 spires, une résistance de $3{,}47\ \omega$. Une résistance de protection non inductive limite le courant à 0,1 ampère. Pour une tension de 100 volts, l'erreur maxima, en employant les deux bobines fixes est de

$$f_{max} = \sqrt{\frac{0{,}0309}{1\,000}} = 0{,}0055 \text{ soit } \frac{1}{2} \text{ p. } 100$$

Mais l'erreur augmente beaucoup pour les tensions moindres.

Si $\Delta = 5$ volts, on aurait $R_2 = 50\ \omega$ et

$$f_{max} = \sqrt{\frac{0{,}0309}{50}} = 0{,}025 \text{ soit } 2{,}5 \text{ p. } 100$$

ce qui nécessiterait en tout cas une correction.

I. — Si on emploi le montage de la figure 1, le courant qui traverse la bobine S_1

$$I_1 = I + i$$

est trop grand et le champ qui dévie la bobine mobile est trop fort. Nous donnerons au champ sa vraie valeur en ajoutant une seconde bobine S_3 dans le circuit, traversée par un courant i, et dont le nombre de spires et la position seront déterminés par la condition que l'action de cette bobine sur S_2 soit égale et directement opposée à l'action du courant i sur S_2. Si S_3 était enroulé avec S_1 de telle manière que les spires des deux bobines soient exactement parallèles, S_3 devrait avoir le même nombre de spires que S_1, ce dispositif n'est pas nécessaire : S_3 n'est astreint qu'à la seule condition d'exercer sur S_2 le couple voulu. Le schéma du montage est donné par la figure 3, les bobines S_1 et S_3 agissent en sens inverse. Ce qu'il y a de mieux à faire c'est de déterminer empiriquement le nombre de spires

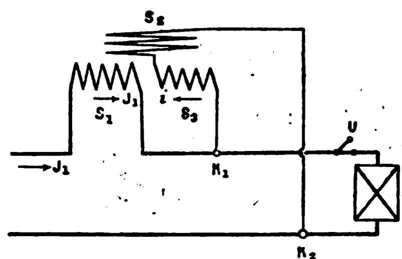


Fig. 3.

de S_3. Il suffit d'interrompre le circuit en u et il ne devra se produire aucune déviation.

La figure 4 indique de même un montage permettant de compenser l'erreur du montage de la figure 2. On sait que le courant i de la bobine S_2 était trop grand d'une quantité $I\frac{R_1}{R_2}$. Pour compenser cette erreur, on adjoint à S_2 une autre bobine S_3 parcourue par le courant I. Si S_2 et S_3 sont de même forme et placées de telle

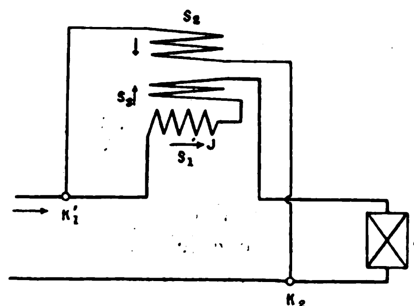


Fig. 4.

sorte que S_1 exerce le même couple sur une spire de S_2 et S_3, on devrait avoir, en désignant par N_2 et N_3 le nombre de spires de S_2 et S_3,

$$N_2\frac{R_1}{R_2} = N_3$$

Si les bobines S_2 et S_3 n'ont pas exactement la même forme, on procédera empiriquement comme ci-dessus.

Une fois la compensation faite, les deux montages donnent le même résultat. En pratique celui de la figure 3 est préférable, car celui de la figure 4 exige des conducteurs flexibles pour

amener le courant en S_3 et donne lieu à un équipage mobile beaucoup plus lourd.

Au lieu de placer la bobine S_3 parallèlement à S_1, il vaut mieux lui donner une autre position, ce qui permet d'éviter une erreur qui se produirait sans cela avec les courants alternatifs. Soit M le coefficient d'induction mutuelle des bobines S_1 et S_3 ; le courant I produit dans S_3 une force électromotrice induite

$$\delta = M \frac{dI}{dt}$$

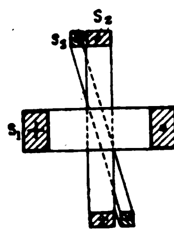
Le courant i dépend donc non seulement de la tension Δ mais encore du courant I. La grandeur de l'erreur dépend de la grandeur de M. de la grandeur et de la phase de I. M. dépend de la disposition de la bobine S_3 : si celle-ci est enroulée parallèlement avec S_1, le coefficient d'induction mutuelle est voisin du coefficient de self-induction de l'une des deux bobines. Pour le wattmètre de Ganz cité plus haut, le coefficient de self-induction des deux bobines fixes est

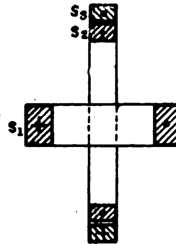
$$L_1 = 0{,}00014 \text{ henry.}$$

$$\omega L_1 = 0{,}0356$$

Le courant I maximum étant de 20 ampères, on aura

$$\delta_{max} = 20 . 0{,}0356 = 0{,}712 \text{ volt}$$





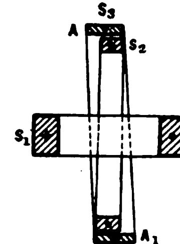


Fig. 5 à 7.

valeur qui n'est pas négligeable. On aura donc intérêt à rendre le coefficient d'induction mutuelle aussi faible que possible, tout en laissant la bobine S_3 exercer sur S_2 le couple nécessaire. On prendra un plan d'enroulement sensiblement perpendiculaire à celui de S_1 (fig. 5). De la sorte, on diminue le coefficient d'induction mutuelle pour 2 raisons : d'une part, il n'y a qu'un petit nombre des lignes de force produites par S_1, qui traversent S_3 ; d'autre part, S_3 étant plus près de S_2, devra avoir moins de spires pour produire le couple voulu.

Dans les instruments à lecture directe, la compensation ne peut être absolue à cause du déplacement de la bobine mobile.

II. — Nous avons vu plus haut que la self-induction de la bobine mobile est une cause d'erreur dans les mesures en courant alternatif. En temps ordinaire, l'erreur est très petite parce que la résistance non inductive mise en série avec la bobine est grande. Mais pour les mesures à basse tension et à haute fréquence, l'erreur peut devenir très appréciable. Dans les mesures relatives à l'interrupteur de Wehnelt, par exemple, on a affaire à des tensions de 30 volts et à des fréquences qui vont jusqu'à 1700.

Le coefficient de self-induction de la bobine mobile du wattmètre de Ganz est

$$L_2 = 0{,}0015 \text{ henry.}$$

Pour 1000 périodes

$$\omega L_2 = 9{,}42$$

Pour une tension de 30 volts, la résistance du circuit à fil fin est de

$$R_2 = 300\ \omega$$

et l'on voit que la réactance n'est pas négligeable par rapport à la résistance.

Le facteur de correction C_0 par lequel il faut multiplier le produit $CR_2\,\alpha$ pour savoir la puissance vraie est

$$C_0 = \frac{1 + \left(\frac{\omega L_2}{R_2}\right)}{1 + \frac{\omega L}{R}\,\frac{\omega L_2}{R_2}}$$

Le calcul de ce coefficient est pénible, car il

exige la connaissance des coefficients de self-induction et des résistances du wattmètre et de l'appareil d'utilisation, et de plus la connaissance de la fréquence, ce qui exige une mesure spéciale avec l'interrupteur de Wehnelt.

L'erreur augmente si on met beaucoup de spires sur la bobine mobile pour augmenter la sensibilité. Le coefficient de self croît en effet comme le carré du nombre de spires, tandis que la sensibilité est simplement proportionnelle à ce nombre. On peut employer une bobine de compensation qui, tout en annulant presque la self-induction, augmente beaucoup la sensibilité. La bobine de compensation S_3 est mise dans le circuit de S_2 (fig. 6) et entoure la bobine mobile ; son nombre de spires est tel que les champs des deux bobines soient opposés et presque égaux. Les deux bobines réunies ont donc une très faible self-induction provenant uniquement du petit intervalle qui les sépare. La bobine fixe S_1 agit sur S_2 et sur S_3, mais l'action sur S_3 ne produit aucun effet, l'action sur S_2 donne la déviation voulue. Le réglage de l'instrument se fait par la condition qu'un même courant traversant S_2 et S_3 ne produise aucune déviation.

III. — Les deux dispositifs de compensation peuvent être réunis sur le même instrument. On peut réunir en une seule les deux bobines de compensation en leur donnant la forme de la figure 7 par exemple. Toutes les spires ont pour effet de diminuer la self. Par contre, seules les spires placées d'une façon dissymétrique par rapport au plan de S_2 agissent pour donner un couple. En répartissant convenablement les spires sur S_3 on peut donner au couple sa vraie valeur, tout en réduisant la self-induction au minimum. E. B.

DIVERS

Propriétés du radium aux températures très basses, par **O. Behrendsen**. *Drude's Annalen*, t. II, p. 335-339, juin 1900.

L'échantillon de radium qui a servi à ces expériences n'était pas très actif : il n'excitait pas un écran fluorescent et sa lueur n'était perceptible qu'à un œil bien reposé dans l'obscurité.

En portant ce radium à la température de l'air bouillant, l'auteur a constaté d'abord une diminution notable de l'action électrique ; puis au bout de quelque temps, cette action a repris à peu près son intensité primitive. Ramené à la température ordinaire, le radium était un peu plus actif qu'auparavant, mais le lendemain il avait repris son état initial. M. L.

Détermination théorique du rapport entre la conductibilité calorifique et la conductibilité électrique des métaux d'après la théorie des électrons de Drude, par **M. Reingaum**, *Drude's Annalen*, t. II, p. 398-404, juin 1900.

La théorie des électrons de Drude [1] permet de déterminer à priori l'ordre de grandeur du rapport $\frac{k}{\sigma}$ entre la conductibilité calorifique et la conductibilité électrique d'un métal. On ne peut déterminer que l'ordre de grandeur de ce rapport parce qu'on fait entrer dans le calcul deux nombres qui ne sont connus que d'une manière très incertaine : le nombre des molécules gazeuses par gramme et la grandeur de la charge électrique moléculaire.

On peut se dispenser de faire usage de ces deux nombres et calculer à priori $\frac{k}{\sigma}$ en transformant l'équation de Drude : on introduit dans le calcul l'équivalent électrochimique et la vitesse moyenne des molécules d'hydrogène déduite de la théorie cinétique. Le nombre ainsi obtenu coïncide d'une manière remarquable avec celui qu'ont trouvé par l'expérience Diesselhorst et Jäger.

Reingaum pense que sans avoir égard à la répartition des vitesses, le fait que l'équation de Drude est vérifiée par l'expérience, permet de conclure : l'électricité se déplace dans les métaux sous forme de masses isolées, du même ordre de grandeur que les charges des ions électrolytiques et on peut appliquer à ces masses les principes de la théorie cinétique des gaz.

M. L.

[1] *Écl. Élect.*, t. XXIII, p. 348, juin 1900.

Le Gérant : C. NAUD.

TABLE MÉTHODIQUE DES MATIÈRES

ÉLECTRICITÉ ET MAGNÉTISME

Théories et généralités.

Conducteurs, Électrolytes et Diélectriques.

Décharge électrique.

Rayons Rœntgen, rayons Becquerel, etc.

Magnétisme.

Sources d'électricité.

Électricité atmosphérique et magnétisme terrestre.

Thermoélectricité.

Électro et Magnéto-Optique.

Électrobiologie.

APPLICATIONS

Génération et Transformation de l'énergie électrique.

Distribution de l'énergie électrique.

Applications mécaniques.

Traction électrique.

Télégraphie et Téléphonie.

Applications thermiques.

Éclairage électrique.

Électrochimie et Électrométallurgie.

MESURES

DIVERS

Sociétés savantes, techniques et industrielles.

Concours.

Congrès internationaux.

Exposition universelle.

Nécrologie.

Bibliographie.

TABLE DES NOMS D'AUTEURS

A

Q

R

S

T

Tome XXIV — Samedi 7 Juillet 1900. — 7e Année. — N° 27.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

SOMMAIRE

Adresser tout ce qui concerne la Rédaction à M. J. BLONDIN, 171, Faubourg-Poissonnière (9e arrondissement).

NOUVELLES ET ÉCHOS

Association amicale des ingénieurs électriciens. (Séance du 26 juin 1900). — La séance a lieu à l'Exposition, sous la présidence de M. Sartiaux, président.

Présents : MM. Isbert, F. Meyer, Meyer-May, Degeorge, Lacauchie, A. Cance fils, Véry, Blondin, Vigneron, Guilbert, Rechniewski, J. Richard, Lainnet, Bardou, Miet, Robard, Semichon, Hamm, Parseons, Berne, Marin, Augé, Clémançon, Solignac, Laffargue.

Au début de la séance, M. le Président, au nom de l'Association, adresse les félicitations les plus sincères à MM. Laffargue et Augé, nommés récemment, l'un chevalier de la Légion d'honneur, et l'autre officier de l'Instruction publique.

Des applaudissements accueillent les paroles du président.

Le procès-verbal de la dernière séance est lu et adopté.

MM. Lucien Lévy, Montpellier et Commelin sont admis comme membres titulaires.

M. Hammerer, à Mulhouse, est admis à titre étranger.

M. Grille est présenté comme membre titulaire.

M. le Président adresse des salutations amicales à MM. Heyland et Goldschmidt, de la maison Dulait, qui assistent au déjeuner.

M. le Président réclame des travaux pour le Bulletin.

M. le Président annonce que pour la rédaction des cahiers des charges il a reçu toutes les réponses des sociétés et que la commission chargée de cette question sera réunie dans peu de temps.

Le congrès des Electriciens aura lieu du 18 au 26 août, on est prié d'envoyer le plus tôt possible les adhésions.

Il n'y aura pas de promenades-visites dans l'Exposition.

La séance est levée à 1 h. 45.

Concours de gants isolants. — L'Association des industriels de France vient d'ouvrir un concours de gants isolants protecteurs pour électriciens ; en voici le programme :

Les mesures à prendre et les moyens à employer pour mettre les électriciens à l'abri des dangers que présentent les courants de haute tension ont fait l'objet de diverses réglementations.

Parmi les mesures conseillées figure au premier rang l'emploi de gants en caoutchouc destinés à protéger les mains des ouvriers électriciens dans les travaux que nécessitent les canalisations ou les appareils électriques.

Tels qu'ils existent actuellement, ces gants sont incommodes, gênants pour les ouvriers et parfois inefficaces. Ils rendent difficile l'exécution du travail ; ils sont, pour celui qui les utilise, une cause d'inhabileté.

Il est désirable de voir créer un type de gants isolants et protecteurs pour tous les potentiels, qui, tout en garantissant efficacement les mains et l'avant-bras de l'ouvrier, ne soient pas pour celui-ci une cause de gêne.

En vue d'obtenir ce résultat, l'Association des Industriels de France contre les accidents du travail ouvre un concours public international de gants isolants protecteurs pour les ouvriers électriciens.

Ces gants devront assurer une protection efficace des mains et de l'avant-bras. Ils devront être solides, résister non seulement à la tension électrique, mais encore aux perforations accidentelles qui pourraient provenir, par exemple des aspérités des fils de cuivre, être faciles à porter, commodes pour toutes les mains et donner à l'ouvrier une liberté des doigts qui lui permette d'exécuter son travail dans de bonnes conditions.

Les concurrents devront faire parvenir avant le 31 décembre 1900, au président de l'Association, 3, rue de Lutèce, à Paris, une notice explicative et deux paires de gants qu'ils présenteront au concours. Ces exemplaires resteront acquis à l'Association.

Les inventeurs devront prendre en temps utile les mesures nécessaires pour garantir leur propriété.

L'Association se réserve expressément le droit de publier, dans la mesure qui lui conviendra, la description et les dessins des objets soumis au concours.

Une commission spéciale sera chargée de l'examen et des essais de ces protecteurs, ainsi que de leur classement ; elle fera son rapport au Conseil de

Direction de l'Association qui pourra décerner un prix de 1 000 fr au candidat placé au premier rang ou diviser cette somme suivant le mérite des concurrents.

Pour tous renseignements, s'adresser au siège de l'Association, 3, rue de Lutèce, Paris.

GÉNÉRATION ET DISTRIBUTION

Usine génératrice de 45 000 chevaux de Willesden (Angleterre). — La station centrale primitive de la Metropolitan Electric Supply C° de Londres étant devenue insuffisante et ne pouvant pas être agrandie sur place, la Compagnie s'est décidée à créer à Willesden, une nouvelle usine dont le *Génie Civil* donne, d'après *Engineer* du 4 mai, la description suivante.

Cette usine qui se trouve placée dans une situation très favorable au point de vue de l'alimentation en eau et en charbon, comprendra dans son état définitif deux bâtiments de chaudières, de 117 m de longueur chacun, situés à l'Est et à l'Ouest, et, entre eux, la salle des machines qui aura la même longueur et 34,15 m de largeur. La puissance de l'usine complète sera de 45000 chevaux indiqués.

Actuellement un quart à peine de l'usine est installé. La portion déjà construite de la salle des chaudières, qui a 49,50 m de longueur, contient seize chaudières Babcock et Wilcox, timbrées à 11,2 k et munies de surchauffeurs. Le bâtiment des machines, terminé par des murs provisoires, a 53,80 m de longueur et 21,95 m de largeur. Il renferme trois unités composées de machines et d'alternateurs Westinghouse.

Les machines ont une puissance de 2500 chevaux indiqués; elles peuvent faire de 116 à 145 tours : minute. Ce sont des machines verticales compound dont les cylindres ont 0,91 m et 1,40 m de diamètre et 0,91 m de course. Les dynamos qui sont des génératrices à courant alternatif diphasé, sont accouplées directement aux machines. Elles donnent 1 500 kilowatts à 500 volts et 60 périodes. Les aimants du champ ont 62 pôles ; l'armature est mobile. Les excitatrices sont montées sur les arbres principaux ; elles sont à enroulement compound. Le courant d'excitation nécessaire à pleine charge est de 150 ampères à 100 et 105 volts.

Douze transformateurs de 250 kilowatts chacun, élèvent la tension du courant de 500 à 10000 volts. Leur rendement est de 98 p. 100 à pleine charge ; leur échauffement est de 21° C au-dessus de la température ambiante après un fonctionnement de huit heures à pleine charge.

L'auteur décrit le tableau de distribution à haute tension.

Les sous-stations, au nombre de trois, contiennent en tout 30 transformateurs de 100 kilowatts. Cinq câbles partent de la station centrale. La longueur des câbles entre cette station et la sous-station extrême est de 11,2 km, elle atteindra, avec les extensions, environ 13 km.

L'auteur termine en décrivant en détail les condenseurs et l'installation servant au refroidissement de l'eau qui sort de ces appareils.

Accumulateurs Commelin et Viau. — Dans la description de cet accumulateur publié dans le numéro du 24 juin, nous disions, à propos du type à gaz sous pression : « Nous n'avons pu obtenir la communication des résultats des essais faits sur ces accumulateurs. »

Une lettre nous informe que « les résultats des essais n'ayant pas été enregistrés, c'est la raison pour laquelle des courbes n'ont pu être communiquées, mais que des essais répétés ont été faits et que la moyenne de plus de cinquante expériences sur le débit a été de 0,25 à 0,30 ampère-heure par décimètre carré de cathode ».

Accumulateur transportable Watt. — La *Elektrochemische Zeitschrift* de mars dernier publie (p. 251-253) un article dans lequel l'auteur, le docteur R. Kieseritzky, s'étend longuement sur les avantages multiples de cet accumulateur tout en ayant bien soin d'omettre tout renseignement permettant de se rendre compte de sa constitution. Le *Mois scientifique et industriel* en donne l'analyse suivante :

La valeur d'un accumulateur dépend de sa résistance intérieure ; ce fut là l'écueil auquel se brisèrent jusqu'ici toutes les recherches relatives à la construction des accumulateurs secs. On essaya l'interposition dans les bacs, de porcelaine, bitume, asbeste, kieselguter, qui gélatinifiait l'acide. Aucun de ces accumulateurs n'était pratique à cause de leur résistance intérieure trop élevée et de leur capacité très affaiblie. L'accumulateur sec Watt a vaincu ces difficultés ; il peut soutenir la comparaison avec les accumulateurs humides et être employé comme source d'énergie dans l'automobilisme. — Les accumulateurs ordinaires pour automobiles causent de graves dommages par leurs projections d'acide et dégagent des odeurs d'acide désagréables. Dans l'accumulateur en question on ne perçoit pas l'odeur

de l'acide, et les projections sont évitées; les gaz sont en effet filtrés dans la couche supérieure de la masse; ils se condensent et sont retenus dans celle-ci. L'avantage qui résulte de cet obstacle à la vaporisation de l'acide est qu'on n'a besoin d'ajouter du liquide qu'à de rares intervalles. — L'accumulateur transportable humide est sujet aux courts-circuits entre les plaques, et, pour les éviter, doit être fréquemment visité et lavé, ce qui diminue sa durée. Faure avait couvert ses plaques, pour éviter cet inconvénient, avec de la flanelle, sans atteindre le but. On couvrit les plaques de gaines qui devaient, en même temps que supprimer les courts-circuits, empêcher la chute de la matière active; mais la résistance intérieure de l'accumulateur fut de ce fait très augmentée et la capacité réduite; la concentration du liquide se fit mal. — Dans l'accumulateur sec, on n'a pas eu besoin d'isoler les plaques par des baguettes; la masse les maintient elle-même solidement, empêche par suite les dépôts; et c'est ce qu'on a constaté d'ailleurs au chemin de fer de Berlin-Charlottenburg, qui utilise ces accumulateurs pour des courants intenses et qui n'a pas eu à changer de plaques. — Pas de lavages, de changements de plaques, etc., ni de manipulations dans l'application de ces accumulateurs à l'automobilisme. — Un grand avantage qu'ils possèdent consiste à pouvoir rapprocher les plaques sans crainte de courts-circuits. Ce fait est à considérer dans la traction qui a besoin de batteries faciles à conduire, de longue durée, avec de faibles poids. — On peut également diminuer l'épaisseur des plaques de ces accumulateurs sans nuire à leur durée; par suite, on peut augmenter leur nombre pour un espace donné, et, pour une même valeur de courant, la densité de celui-ci sera moindre, par conséquent, dans l'accumulateur sec que dans l'accumulateur humide.

Cet accumulateur fut, à la suite de bons essais, adopté par les chemins de fer de Berlin-Charlottenburg, puis par les voitures automobiles, les bateaux électriques, les remorqueurs, etc.

Les accumulateurs sont soudés, remplis de matière sèche et portés à l'ensablage, puis les batteries sont formées. Ce travail est facile; les plaques ne sont pas soudées l'une à l'autre à la manière ordinaire, mais serrées par des écrous en plomb dur à un ruban qui se compose d'un système de rubans de plomb pliés ensemble. Le montage est peu coûteux et a une grande durée; il est plus facile qu'une soudure. De plus, on peut facilement enlever une plaque sans toucher aux soudures. Ce système est entré dans la pratique.

Le type C de ces accumulateurs est destiné aux installations de lumière pour voitures, omnibus, chemins de fer et petites voitures automobiles. Le type St_3 a été employé par les chemins de fer précédents, à la grande satisfaction de la direction qui les recharge en fin de station. La société qui les fabrique a fourni, au mois d'octobre dernier, quarante nouvelles batteries à cette ligne.

Sur la charge des accumulateurs. — Dans la *Electrochemische Zeitschrift* de février (p. 225-246), M. E. Schiff publiait un article relatif à l'emploi des batteries d'accumulateurs dans les ateliers pour l'éclairage de ceux-ci ou pour leur utilisation à l'alimentation des machines-outils en cas d'interruption de l'alimentation par le réseau de distribution. Le dernier numéro du *Mois scientifique et industriel* résume ainsi cet article.

Pour charger des accumulateurs en série sans machine supplémentaire, on peut ou bien changer le nombre de tours de la machine existante ou bien changer son champ magnétique. Le premier procédé présente des difficultés, car en général les machines sont mues par une transmission d'atelier qui tourne à une vitesse constante. On peut cependant prendre un terme moyen : légèrement augmenter le nombre de tours d'une façon permanente et finir de régler en intercalant une résistance dans le champ magnétique; de cette façon, on peut ne pas forcer la machine à tourner trop vite et ne rien troubler dans les installations de lumière. — En pratique, l'élévation de tension nécessaire pour la charge des accumulateurs est faible. — Ainsi, pour une batterie de 110 volts, 130 volts suffisent, et, si la demande de courant n'est pas trop forte, la machine peut bien supporter cet à-coup. Il y a lieu de recommander d'ailleurs de charger à faible courant, car l'effet utile des accumulateurs pour une quantité donnée d'ampères-heures croît avec le temps de charge. Il y a lieu de charger à watts constants; les forts courants nuisent à la capacité. On peut se rendre compte si l'on a bien réalisé la tension et l'ampérage voulus, en utilisant pour l'essai un groupe de lampes disposées

lui-même. C'est une opinion comme une autre, et la formule a l'avantage de s'appliquer en changeant le nom, à n'importe quelle industrie ; elle ne suffit à prouver ni la nécessité, ni l'utilité du projet de loi. M. le Ministre des travaux publics trouve tout naturel que le projet vienne en discussion dans le dernier quart d'heure de la session : « Nous n'avons fait, dit-il, aucune manœuvre pour que ce projet vienne à cette heure et soit discuté d'une façon hâtive. » Cette déclaration a si peu le succès prévu, que M. Aynard demande « qu'on lui fasse la grâce de lui dire sur quels motifs est basée la demande de renvoi à la commission ».

M. Aynard en sait sur la question beaucoup plus long que nous et que les neuf dixièmes de ses collègues : nous ne lui apprendrons pas que la Compagnie électrique de la Loire distribue la force par l'électricité dans les départements de la Haute-Loire et de la Loire, qu'il s'est créé une concurrence à cette Compagnie, et que ces deux entreprises ont fonctionné et fonctionnent sans avoir encore eu besoin d'une loi spéciale ; que des opérations analogues, projetées dans le Midi, se verraient avec plaisir octroyer un monopole, parce que ça ne gâte rien ; enfin, comme l'a dit M. Antide Boyer, que le projet de loi, en parlant de décentralisation, enlève en réalité aux communes une partie essentielle de leurs privilèges et fait, une fois de plus, de l'Etat, l'arbitre suprême de nos destinées. Cette prnmière rencontre des partisans et des adversaires du projet n'a pas duré une heure, elle tient en huit colonnes de l'*Officiel* mais elle a été aussi vive que courte. La majorité de la commission ne s'attendait pas à une réception aussi chaude ; une autre fois, elle devra mieux prendre ses mesures, si elle tient à triompher, car ni les maires, ni les propriétaires ne sont disposés à laisser porter atteinte à leurs droits, pour créer une situation privilégiée aux Sociétés de distribution d'énergie.

TÉLÉGRAPHIE

Projet d'extension du réseau télégraphique sous-marin français. — L'agrandissement de notre empire colonial exige que nous ne restions pas plus longtemps tributaires des compagnies anglaises pour nos relations télégraphiques avec nos colonies. On le sait fort bien depuis plusieurs années déjà; les mesures draconiennes prises par le gouvernement anglais au commencement de la guerre au Transvaal en montrèrent l'évidence et le gouvernement français chargea une commission parlementaire de rechercher les moyens de compléter dans les meilleures conditions notre réseau sous-marin.

Le rapporteur de cette commission, M. Maurice Ordinaire, député, a récemment déposé son rapport. En voici les principaux points :

Après avoir rappelé que toute les nations du monde sont tributaires de l'Angleterre, le rapporteur montre les inconvénients qui en résultent en temps de paix et fait pressentir les désastres qui en résulteraient en cas de guerre avec cette puissance. Il fait voir ensuite que les nations coloniales cherchent à se créer des réseaux indépendants : déjà l'Allemagne, plus dénuée encore que nous-mêmes, a obtenu un excellent atterrissage aux Açores pour un câble qui doit la relier à l'Amérique du Nord ; les États-Unis projettent également l'établissement d'un câble transpacifique reliant San-Francisco à Hong-Kong en passant par les villes américaines d'Havaï, de Guam et des Philippines. L'Angleterre elle-même ne trouve pas son immense réseau suffisamment invulnérable : déjà elle a commencé l'exécution d'un réseau de câbles en eau profonde n'atterrissant qu'en territoires anglais et elle projette d'établir un câble transpacifique « tout anglais » dont il a été question il y a quelques mois dans ce journal.

Le rapporteur indique ensuite les idées directrices qui ont guidé la commission. « Elles répondent, dit-il, à deux ordres de préoccupations politiques, militaires et économiques, et peuvent se formuler comme suit :

« 1° Les lignes télégraphiques sous-marines entre la métropole et ses colonies devront, s'il n'y a pas d'impossibilité matérielle absolue, être directes et sans atterrissage étranger.

» Au cas contraire, les atterrissages seront aussi peu nombreux que possible, et ils emprunteront de préférence le territoire des puissances amies jugées les plus capables de faire respecter leur neutralité. Il y aura alors un grand intérêt à multiplier le nombre de ces lignes, afin que les relations de la colonie avec la métropole ne dépendent pas du bon vouloir d'une seule puissance étrangère.

» Les lignes en eau profonde devront être préférées, comme présentant une sécurité relative plus grande. Les atterrissages, points les plus vénérables de la ligne, seront, autant que possible, des postes fortifiés. On choisira de préférence les points d'appui de la flotte.

» 2° Les câbles isolés et soudés à un réseau étranger qui bénéficie du transit, ont aussi peu de valeur

mulateurs dans les stations centrales ne sont plus discutés, il semble qu'elles puissent rendre des services dans un autre cas : celui des installations d'éclairage privées de quelque importance.

Les compagnies de distribution vendant à un tarif très réduit l'énergie électrique consommée pendant le jour pour la force motrice, le chauffage, la charge des accumulateurs, etc., il est en effet permis de se demander si un particulier consommant une quantité d'énergie notable pour son éclairage, n'aurait pas avantage à assurer cet éclairage au moyen de batteries d'accumulateurs chargées pendant le jour par la station centrale dont il dépend et déchargées pendant la soirée dans ses appareils d'éclairage. La question a été examinée il y a quelques mois dans divers articles publiés dans le *Cassier's Magazine*, l'*Electrician* et l'*Electrical World* d'octobre dernier et la conclusion a été que cette solution est économique.

On pourrait objecter à cette conclusion que si elle est juste pour un particulier, elle l'est également pour la station centrale et que dès lors celle-ci a avantage à charger pendant le jour des batteries qu'elle déchargera pendant la soirée et à ne pas faire de tarifs de faveur pour certaines applications de l'énergie électrique. Certes l'objection est fondée et la meilleure preuve c'est que l'emploi de batteries d'accumulateurs dans les stations centrales se développe rapidement. Mais si les stations centrales étendaient par trop ce système, elles pourraient se trouver dans certains cas exceptionnels dans l'impossibilité de suffire à la consommation à moins d'installer des batteries d'une capacité hors de proportion avec les besoins normaux; il en résulterait pour elle une perte notable tant par suite de l'amortissement que de l'entretien des batteries le plus souvent incomplètement utilisées. Le particulier au contraire peut savoir assez exactement sa consommation maximum et en tout cas il peut s'arranger de façon à ne pas dépasser celle que lui permet sa batterie. La capacité de celle-ci sera donc nécessairement inférieure à celle que la station centrale devrait établir dans le même but en tenant compte des aléas. Comme la station trouve encore bénéfice à la fourniture de l'énergie à tarif réduit à certaines heures, on voit que l'installation de la batterie chez l'abonné peut être avantageuse pour tout le monde.

Il nous semble que cette solution mérite d'être examinée de près par les grands magasins et cafés qui ont, par raison d'économie, installé des usines privées pour leur éclairage. Les conditions d'exploitation de ces petites usines étant plus onéreuses que celles des grandes stations centrales, il nous paraît que dans bien des cas les propriétaires de ces petites usines auraient avantage à se fournir aux stations centrales pendant les heures où celles-ci ne fonctionnent qu'à très faible charge.

La préservation des câbles électriques dans les mines. — Le développement des installations électriques dans les mines pour l'éclairage et la transmission de l'énergie a amené les ingénieurs à se préoccuper des précautions qu'il convient de prendre pour éviter la détérioration qui non seulement est une cause d'augmentation des dépenses d'entretien mais peut avoir de graves conséquences dans les mines grisouteuses en facilitant la formation de courts-circuits. M. Valker a récemment publié une étude très documentée sur ce sujet dans le *Colliery Guardian;* le *Bulletin de la Société de l'Industrie minérale* en a donné une analyse dont nous extrayons les renseignements suivants :

La détérioration rapide des câbles d'alimentation des installations minières résulte de trois causes principales :

1° L'attaque des conducteurs de cuivre par l'eau acide des mines. Quelle que soit la substance isolante qui protège un câble, elle ne résiste jamais assez longtemps au passage de l'eau. Le caoutchouc pur ou galvanisé, qui est un isolateur parfait lorsqu'il est sec, se décompose sous l'action de l'eau de mine, chargée de sels divers, et la laisse pénétrer jusqu'au fil de cuivre.

2° La grande facilité avec laquelle peuvent se produire des courants divers, provenant de ce même fait que la plupart des isolants sont rapidement attaqués par l'eau acide. Cette eau elle-même constitue un assez bon conducteur. Si deux câbles voisins sont, par exemple, couchés dans l'eau accidentellement, il ne tarde pas à se produire de l'un à l'autre un courant dérivé qui peut absorber une fraction notable de la puissance fournie par la machine motrice.

3° La difficulté de protéger les câbles contre les atteintes mécaniques. Si on les enferme dans des gaines de bois, celui-ci joue peu à peu le rôle d'une éponge et s'imprègne d'eau qu'il répand sur les conducteurs. Si on les enferme dans des tuyaux de plomb, ceux-ci sont exposés à se déchirer en certains points et laissent alors pénétrer l'eau d'une façon plus dangereuse encore, car il est souvent difficile d'apercevoir les fissures. Enfin, la plupart des corps employés comme isolants ou comme gaines protectrices, ont une résistance à l'étincelle insuffisante s'ils sont en couche mince, ce qui présente de graves inconvénients pour les câbles parallèles.

Pour retarder la détérioration des câbles, on peut utiliser plusieurs moyens : augmentation de la couche isolante de caoutchouc, protection de cette couche par des fils ou rubans imprégnés de substances inperméables, protection par une gaine métallique.

Le caoutchouc vulcanisé, bien qu'il soit à la longue perméable à l'eau, résiste quelque temps et en proportion de son épaisseur. Son altération est en somme une oxydation ; la couche superficielle est attaquée la première, convertie en pâte molle sans élasticité, puis, au bout d'un certain temps seulement, l'altération parvient jusqu'au centre. L'auteur indique en conséquence comme favorable l'emploi d'une enveloppe épaisse de caoutchouc vulcanisé, de 1/10 à 1/8 de pouce.

Les fils tressés et les rubans imprégnés de compositions imperméables ne garantissent pas les conducteurs indéfiniment, mais retardent la pénétration de l'eau tant que la composition inperméable n'est pas éliminée en tout ou par places, et en proportion de leur épaisseur. On obtiendra donc un câble résistant en l'enveloppant d'abord d'une épaisse couche de caoutchouc vulcanisé, puis, par-dessus, d'une gaine de chanvre imprégnée d'une substance imperméable et recouverte encore de bandelettes traitées de la même façon. Bien entendu, la matière imperméable ne doit pas attaquer le caoutchouc. Un tel câble placé dans des caisses en bois préalablement bien desséchées, résistera pendant au moins dix ans. Evidemment, une telle disposition est coûteuse, mais ce sera un bon calcul que de l'adopter pour une installation de quelque importance. Quant au plomb, il est attaqué assez rapidement par l'eau de mine, il peut cependant remplacer les gaines de bois avec avantage. Ainsi un câble isolé avec du caoutchouc vulcanisé, sans en augmenter l'épaisseur, puis entouré de rubans et de tresses de filasses et enfin introduit ainsi dans un tuyau de plomb résistera aussi un grand nombre d'années, tant que le plomb ne sera pas déchiré, et le plomb serait-il même percé par endroits, l'eau s'infiltrera assez lentement jusqu'au fil de cuivre. En plaçant un câble ainsi entuyauté dans une gaine en bois, on obtiendrait une durée indéfinie.

Dans plusieurs mines, on enferme les câbles isolés à la manière ordinaire dans des tuyaux de fonte en ménageant des boîtes spéciales aux points de jonction ou de bifurcation, mais ces boîtes sont justement difficiles à préserver contre la pénétration de l'eau.

En somme, le système préférable est celui de câbles protégés par des tuyaux de plomb. Un câble concentrique à isolement de papier perfectionné, avec une bonne épaisseur de papier entourant le conducteur extérieur, le tout couvert de plomb et protégé par une légère armure, formerait un câble presque idéal pour les mines, qui pourrait être placé hors de danger généralement dans le puits et suspendu dans les voies avec une grande facilité. Il est vrai que l'épissure de câbles à isolement de plomb, et surtout quand ils sont concentriques, est difficile au commencement ; mais cette difficulté est bientôt surmontée avec un peu de soins et d'intelligence.

Informations. — *Narbonne*. (Transmission d'énergie à distance.) — La Société méridionale de transport de force, dirigée par M. J. Estrade, a entrepris actuellement la construction d'une usine hydro-électrique sur les bords de l'Aude, aux gorges de Saint-Georges, près d'Axat.

La force motrice est empruntée à la rivière l'Aude. Un canal d'amenée, d'une longueur de 5,5 km, percé en pleine montagne, conduit l'énergie hydraulique à une chute de plus de 100 m de hauteur. Huit turbines tournant à 300 t : m actionneront directement huit alternateurs « Alioth » alimentant par l'intermédiaire des transformateurs, les lignes à la tension de 20 000 volts et produisant une puissance totale de 5 à 6 000 chevaux.

TRACTION ÉLECTRIQUE

Informations. — *Annecy* (*Haute-Savoie*). — Le préfet de la Haute-Savoie a nommé une commission d'enquête pour examiner la demande de concession d'un tramway Annecy-Saint-Julien, faite le 9 août 1899 par M. Burtin, négociant à Genève.

Liège. — La ville de Liège possède depuis 1898 une ligne de tramways Est-Ouest L'usine génératrice comprend deux salles : la salle des chaudières et la salle des machines. Dans la première sont installées trois chaudières Cornwall-Galloway de 85 m² de surface de chauffe chacune. Dans la salle des machines sont installées trois unités composées chacune d'une machine à vapeur.

Le matériel roulant comporte 22 voitures automotrices à 36 places, 16 voitures ouvertes et 14 voitures fermées pour la remorque. La consommation d'énergie par voiture km est de 600 watts-heure.

La voie est établie avec rails à gorge d'un poids de 42 kg par mètre posé sur ballast. La longueur des rails est de 15 m. La ligne aérienne est formée de fils de trôlets doubles en cuivre dur de 8,25 mm de diamètre, suspendus à 6 m du sol.

Londres. (Stations centrales.) — M. Donald, de Londres, qui s'est livré à des études approfondies sur l'exploitation par les municipalités des stations centrales des villes, donne les résultats suivants qui montrent que les municipalités peuvent produire l'énergie électrique à un prix plus bas que l'industrie privée.

Coût de production par kilowatt-heure : municipalités, 0,187 fr ; compagnies privées, 0,271 fr ; prix moyen de vente aux abonnés : municipalités, 0,45 fr ; compagnies privées, 0,55 fr ; bénéfice sur le capital engagé : municipalités, 7,5 p. 100 ; compagnies privées, 7,2 p. 100.

Marseille (*Bouches-du-Rhône*). — Aux termes d'un arrêté paru dans le *Journal officiel* sont déclarés d'utilité publique les travaux à faire soit pour la substitution de la traction *électrique* à la traction animale ou à vapeur, soit pour l'établissement dans la ville ou la banlieue de Marseille de déviations, doublements, raccordements et terminus nouveaux destinés à compléter le réseau actuel des lignes de tramways.

Villefranche-sur-Rhône. — La commission nommée par arrêté de M. le Préfet du Rhône, en date du 6 mars 1900, pour donner son avis sur les résultats de l'enquête ouverte sur le projet du tramway électrique de Villefranche avec embranchements sur Lozanne et sur Rivolu, a donné un avis très favorable à l'adoption du projet et exprimé des vœux pour sa prompte exécution.

Tome XXIV Samedi 11 Août 1900. 7e Année. — N° 32.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

SOMMAIRE

NOUVELLES ET ÉCHOS

EXPOSITION UNIVERSELLE

Congrès international de physique. — C'est lundi prochain 6 août que s'ouvrira ce Congrès.

La séance d'ouverture a eu lieu lundi, à 3 heures de l'après-midi, dans la grande Salle du Palais des Congrès, à l'Exposition.

Les séances ultérieures ont eu lieu au Siège de la Société de Physique, 44, rue de Rennes.

Les travaux du Congrès, partagé en 7 sections, ont porté plus particulièrement sur la discussion des soixante rapports, actuellement imprimés, et dont la liste a été antérieurement publiée (Voir t. XXIII, p. LI, 5 mai 1900).

Des conférences et visites diverses ont été à présent organisées. M. le Prince Roland Bonaparte, membre de la Commission d'organisation, recevra les Congressistes samedi soir 11 août, dans son Hôtel de l'avenue d'Iéna; au cours de cette réception, des expériences seront faites et divers appareils exposés.

Les rapports présentés au Congrès seront réunis eu trois beaux volumes in-8°, qui seront distribués gratuitement, après le Congrès, aux adhérents (sauf le remboursement des frais d'envoi), alors même qu'ils n'auraient pu assister aux séances.

Les adhésions sont reçues jusqu'au 12 août par M. L. Poincaré ; les cotisations doivent être adressées, *avant cette date*, au trésorier, M. de la Touanne, 8, rue de Tournon. Passé ce délai, les volumes contenant les rapports n'appartiendront plus à la Commission du Congrès et seront mis en vente à un prix très supérieur à celui de la carte du Congrès (20 fr.).

Parmi les rapports publiés cette semaine, citons ceux de :

MM. Christiansen, sur l'*Electricité de contact.*
Arrhénius, sur la *Dissociation électrolytique des solutions.*
Lorentz, sur la *Théorie des phénomènes magnéto-optiques.*
Nagaoka, sur la *Magnétostriction.*
Bichat et Swyngedauw, sur les *Phénomènes actino-électriques produits par les rayons violets.*
Abraham, sur les *Mesures de vitesse v.*
Exner, sur les *Recherches récentes relatives à l'électricité atmosphérique.*
Guillaume, sur les *Unités de mesure.*
Griffiths, sur la *Chaleur spécifique de l'eau.*
Ames, sur l'*Equivalent mécanique de la chaleur.*

Congrès international d'électricité (18-25 août). — Les rapports suivants seront imprimés et distribués aux membres adhérents, à l'ouverture du Congrès :

M. S.-P. Thompson, sur les *Mécanismes électromagnétiques* ;
M. Hospitalier, sur les *Grandeurs et unités* ;
M. Violle, sur la *Photométrie* ;
M. Leblanc (M.), sur les *Génératrices asynchrones et le compoundage des alternateurs* ;
M. Janet (P.), sur les *Commutatrices et transformateurs redresseurs* ;
M. Boucherot (P.), sur l'*Emploi des condensateurs* ;
Postel-Vinay, sur les *Prises de courant pour tramways* ;
Blondel, sur les *Lampes électriques* ;
Bouilhet, sur les *Dépôts électrochimiques* ;
Sébert (général), sur les *Fours employés dans la fabrication du carbure de calcium* ;
Blondel et capitaine Ferrie, sur la *Télégraphie sans fil.*

Ajoutons un renseignement qui peut être utile aux membres de province et de l'étranger :

L'*Agence des Voyages Economiques*, *Faubourg Montmartre, 17, à Paris*, met à la disposition de Messieurs les Congressistes et de leurs familles, des logements dans plusieurs hôtels confortables de différentes catégories, à des prix variant de 15 à 20 francs par jour et par personne, comprenant : la chambre et les trois repas, vin compris.

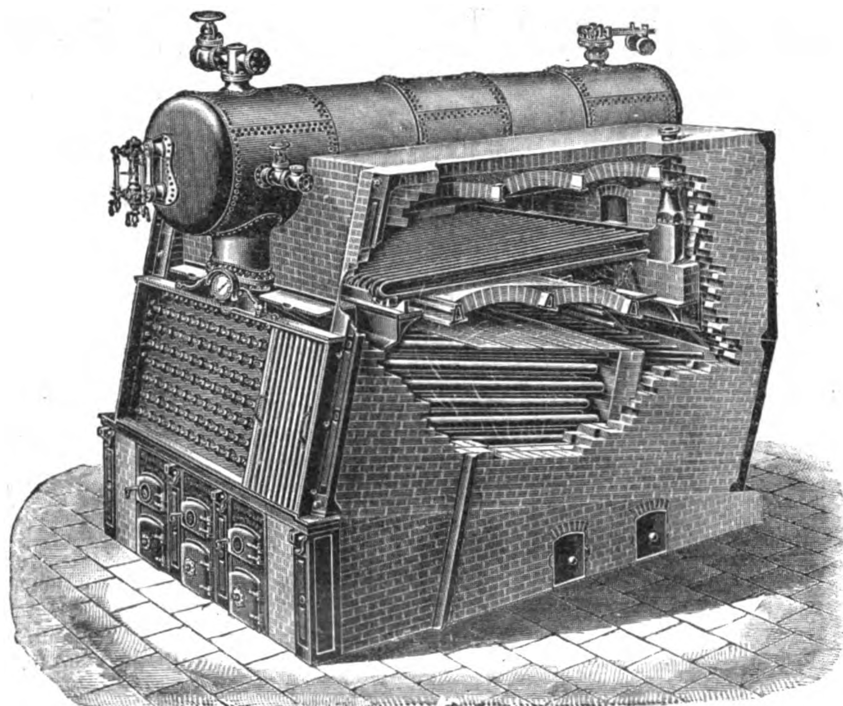
Une réduction sera faite aux personnes qui ne désireront prendre que la chambre et le petit déjeuner.

Les demandes doivent parvenir à l'Agence, *au plus tard, le 10 août, dernier délai*, et indiquer la date de l'arrivée, la durée du séjour, le nombre de personnes et la manière dont elles désirent être logées, avec ou sans les deux principaux repas.

CHAUDIÈRE STEINMÜLLER

Munie de surchauffeur Steinmüller

FONDÉE EN 1874



Plus d'un million de Chevaux-Vapeur en marche.

L. ET C. STEINMÜLLER, GUMMERSBACH

(Province Rhénane)

La plus grande fabrique de chaudières multitubulaires de l'Allemagne

Une batterie de 5 chaudières STEINMÜLLER fournissant 18,000 kilogs de vapeur à l'heure, fonctionne à l'Exposition de 1900, usine SUFFREN

On cherche une Maison de construction en France.

GÉNÉRATION ET DISTRIBUTION

Moteur à gaz Marmonier à admission et détente variables. — Dans le *Bulletin technologique des Arts et Métiers* de février dernier MM. Borain et Julien donnent la description de ce moteur en l'accompagnant de considérations générales qui montrent que les idées exposées par M. Witz dans la première édition de son *Traité des moteurs à gaz* et appliquées en partie dans le moteur Charon, commencent à se répandre parmi les constructeurs de moteurs à gaz. En analysant cet article, le *Mois scientifique et industriel* dit en effet :

Les auteurs constatent que les moyens généralement employés pour régler les moteurs à explosions, produire des ratés dans l'allumage, avancer ou retarder le moment de cet allumage, ne sont ni rationnels, ni économiques, qu'ils sont même barbares. Dans les deux cas, la quantité de mélange aspiré est toujours la même et partant, la dépense constante et égale au maximum. De plus, avec le premier procédé, on diminue la fréquence des courses utiles, quand déjà en marche normale ce peu de fréquence est un inconvénient.

Le dispositif inventé par M. Marmonier permet la régularisation en faisant varier la quantité du mélange aspiré et la détente des gaz explosés ; il permet, pour toutes les admissions partielles allant de l'admission maximum à l'admission nulle et vice versa, la constance de la proportion de gaz frais et de gaz brûlé composant le mélange explosif, ainsi que du degré de compression.

L'invention réside dans l'emploi d'un contre-piston fermant le cylindre et recevant, de l'arbre moteur, un mouvement alternatif de course et de sens variable, par l'intermédiaire d'une coulisse analogue à la coulisse Stéphenson. Suivant la position du coulisseau qui relie la coulisse au contre-piston, ce contre-piston peut rester stationnaire, marcher dans le même sens ou en sens contraire du piston d'une course variable. Le volume de mélange introduit peut donc varier depuis zéro jusqu'au double du volume engendré par le piston.

La position du coulisseau sur la coulisse est réglée au moyen d'une vis manœuvrée par un volant. On peut aussi, à l'aide d'un dispositif très simple, faire commander l'avance à l'allumage par la même vis de manœuvre du coulisseau et obtenir ainsi une augmentation automatique de l'avance à l'allumage à mesure qu'augmente la quantité de mélange admis.

Le conducteur n'a plus entre les mains qu'un organe unique de commande qui lui permet de proportionner à tous les instants la puissance, la vitesse du moteur, ainsi que la dépense, au travail à développer, et de donner au véhicule l'allure désirée, et cela dans les meilleures conditions possibles de rendement.

Gaz à l'eau Dellwick-Fleischer. — Formé de parties à peu près égales d'hydrogène et d'oxyde de carbone, le gaz à l'eau a un très grand pouvoir calorifique ; malheureusement les difficultés de sa préparation en rendent le prix relativement élevé. M. Carl Dellwick a proposé un procédé, dit Dellwick-Fleischer, permettant de l'obtenir dans des conditions économiques et sur lequel le *Bulletin des Ingénieurs civils* de mai dernier nous donne les renseignements suivants :

La production du gaz comprend deux périodes ; dans la première on insuffle de l'air chaud sous la grille du gazogène pendant environ dix minutes pour porter le coke à la température la plus élevée possible ; dans la seconde on envoie de la vapeur dans le gazogène pendant que la température est assez élevée pour la décomposition de l'eau, c'est-à-dire pendant 4 à 5 minutes. Dans la première période l'appareil fonctionne comme un gazogène Siemens et permet la dissociation de l'acide carbonique et des composés azotés.

Des expériences ont été faites d'abord à Warstein, en Westphalie, avec du coke à gaz d'Essen contenant 87,6 p. 100 de carbone ; on a obtenu 2 560 litres de gaz par kilogramme de coke, chiffre qui se réduit à 2 130, si on tient compte du coke nécessaire au chauffage de l'air et à la production de la vapeur. On double ainsi la quantité de gaz ; le gaz obtenu a une densité de 0,536 et un pouvoir calorique de 4 089 par

Dihlmann. — Siemens et Halske, Allemagne.
Egger (Ernest). — Sociétés anonymes réunies d'électricité, Autriche.
Pichemeyer (Ch.). — Siemens et Halske, Autriche.
Kando (de). — Ganz et Cie, Hongrie.
Coerper. — Société anonyme d'électricité Hélios, Allemagne.
Ossanna (G.). — Siemens et Halske, Autriche.
Pingre. — Compagnie électro-mécanique, France.
Parons. — Compagnie française pour l'exploitation des procédés Thomson-Houston, France.
Marchena (de). — Compagnie française pour l'exploitation des procédés Thomson-Houston, France.
Routin. — Grammont (Alexandre), France.
Chaussenot. — Compagnie électro-mécanique, France.
Schwarborg. — Compagnie électro-mécanique, France.
Priese. — Electricitäts aktiengesellschaft, Allemagne.
Jordan. — Société anonyme d'électricité, Allemagne.

Médailles d'argent.

Wuest. — Compagnie internationale d'électricité, Belgique.
Ingebretson. — Société par actions du bureau électrique, Norvège.
Avril de Gastel. — Bovet (Armand de), France.
Boy de la Tour. — Compagnie Fives-Lille, France.
Bergeret. — Compagnie des chemins de fer Paris-Lyon-Méditerranée, France.
Brachotte. — Hillairet-Huguet, France.
Launay. — Hillairet-Huguet, France.
Letinier. — Hillairet-Huguet, France.
Dantzer. — Hillairet-Huguet, France.
Colin. — Sautter, Harlé et Cie, France.
Uzel. — Sautter, Harlé et Cie, France.
Christmann (J.). — Société « le Carbone », France.
Fresquet. — Société des établissements Postel-Vinay, France.
Faure. — Société des établissements Postel-Vinay, France.
Chauvin. — Société Gramme, France.
Nussberger. — Société nouvelle des établissements Decauville, France.
Charpentier. — Compagnie française pour l'exploitation des procédés Thomson-Houston, France.
Giles (Georges). — Farcot (Joseph), France.
Auzépy. — Compagnie générale d'électricité (Etablissements Mouchel), France.
Legraux. — Compagnie générale d'électricité de Creil (Établissements Daydé et Pillé), France.
Douzé. — Compagnie générale d'électricité de Creil (Etablissements Daydé et Pillé), France.
Joriaux. — Schneider et Cie, France.
Cottard. — Schneider et Cie, France.
Danon. — Schneider et Cie, France.
Risler. — Société industrielle des téléphones, France.
Smidt. — Elektricitäts Aktiengesellschaft, Allemagne.
Bœttcher. — Elektricitäts Aktiengesellschaft, Allemagne.
Gickermann (Dr). — Siemens et Halske, Allemagne.
Hoffmann. — Siemens et Halske, Allemagne.
Epstein. — Société anonyme d'électricité, Allemagne.
Laseke. — Allgemeine elektricitäts Gesellschaft, Allemagne.
Kayser. — Allgemeine elektricitäts Gesellschaft, Allemagne.
Dompieri. — Hammayer, Allemagne.
Sternberg. — Hammayer, Allemagne.
Kramer. — Allgemeine elektricitätsgesellschaft, Allemagne.
Fritsch (Carl). — Kolben et Cie, Autriche.
Kolben (Alfred). — Kolben et Cie, Autriche.
Wofgang Wendelin. — Siemens et Halske, Autriche.
Gabriel (R.). — Siemens et Halske, Autriche.
Ritter (Joseph). — Ganz et Cie, Hongrie.
Aichelle (Albert). — Brown, Boveri et Cie, Suisse.
Sulzberger (Carl). — Brown, Boveri et Cie, Suisse.
Eigner (Adolf). — Siemens et Halske, Russie.
Nordby. — Wisbeck, Norvège.
Andrewert. — Société française de l'ambroïne, France.
Laporte. — Société internationale des électriciens, France.
Bourguignon (Paul). — Société internationale des électriciens, France.
David (Charles). — Société internationale des électriciens, France.
Durand (Albert). — Société internationale des électriciens, France.
Mack. — Voigt et Haeffner, Allemagne.
Melotte (P.). — Société anonyme des ateliers Jaspar, Belgique.
Von Musalts (Carl). — Société anonyme Hélios, Allemagne.
Lautenschoeser. — Schukert et Cie, Allemagne.

Médailles de bronze.

Reubrecht (Edmond). — Hillairet-Huguet, France.
Planson (Louis). — Hillairet-Huguet, France.
Pirotte (Gérard). — Compagnie internationale d'électricité, Belgique.
Delaporte. — Breguet, France.
Godart. — Société Gramme, France.
Bourguignon (Paul). — Société internationale des électriciens, France.
David (Charles). — Société internationale des électriciens, France.

Durand (Albert). — Société internationale des électriciens, France.
Schutz. — Société nouvelle des établissements Decauville, France.
Nectoux. — Schneider et Cie, France.
Loiseau. — Schneider et Cie, France.
Chatigny. — Compagnie générale d'électricité (Etablissements Mouchel), France.
Vignard. — Grammont (Alexandre), France.
Dietz (Paul). — Grammont (Alexandre), France.
Pascal. — Société industrielle des téléphones, France.
Bassez. — Société industrielle des téléphones, France.
Philibert. — Compagnie générale d'électricité de Creil (Etablissements Daydé et Pillié), France.
Vuillaume. — Compagnie générale d'électricité de Creil (Etablissements Daydé et Pillié), France.
Reignier (Charles). — Société des hauts fourneaux de Maubeuge.
Natalis. — Elektrizitats aktiengesellschaft, Allemagne.
Bohmlauder. — Siemens et Halske, Allemagne.
Lehnert (J.). — Demuth frères, Autriche.
Breslauer (Dr). — Sociétés anonymes réunies d'électricité, Autriche.
Klauber. — Sociétés anonymes réunies d'électricité, Autriche.
Rotter. — Canz et Cie, Hongrie.
Weiss. — Ganz et Cie, Hongrie.
Fritz (Albert). — Société anonyme Hélios, Allemagne.
Hunziker (Emile). — Brown, Boveri et Cie, Suisse.
Amsler (Paul). — Brown, Boveri et Cie, Suisse.
Zehnder (Jacob). — Brown, Boveri et Cie, Suisse.
Furstig (Othon). — Siemens et Halske, Russie.
Riehl (Guillaume). — Siemens et Halske, Russie.
Rieser (W.). — Allgemeine elektrizitats Gesellschaft, Allemagne.
Keller (H.). — Allgemeine elektrizitats Gesellschaft, Allemagne.
Haiss (J.). — Voigt et Hæffner, Allemagne.
Metter (J.). — Siemens et Halske, Autriche.
Wiegaud (Charles). — Egger, Hongrie.
Karl (Petter). — Egger, Hongrie.
Lefranchec. — Société nouvelle des établissements Decauville, France.
Pelletier. — Compagnie générale d'électricité (Etablissements Mouehel), France.
Schouleur. — Société internationale des électriciens, France.
Massemme. — Société internationale des électriciens, France.
Bruchner. — Société internationale des électriciens, France.
Brunet. — Société internationale des électriciens, France.
Gunther. — Allgemeine elektrizitats Gesellschaft, Allemagne.
Hildebrandt. — Allgemeine elektrizitats Gesellschaft, Allemagne.
Nedved (Adolphe). — Cranz et Cie, Hongrie.
Frommel (Joseph). — Cranz et Cie, Hongrie.

Mention honorable

Nordby. — Wisbeck, Norvège.

Classe 24. — Electrochimie.

Liste du Jury.

Moissan (Henri), P. — France.
Ostheimer (Georges-R.), V.-P. — Etats-Unis.
Etard (Alexandre), R. — France.
Becquerel (Henri), S. — France.
Bancelin (Edme). — France.
Bouty (Edmond). — France.
Léonino (Emmanuel). — France.
Street (Charles). — France.
Mourlon (Ch.). — Belgique.
Borchers. — Allemagne.

Exposants hors concours.

Christofle et Cie. — France.
Compagnie des accumulateurs électriques Blot. — France.
Gin et Leleux. — France.
Compagnie française des métaux. — France.
Etard. — France.
Moissan. — France.
Société anonyme le Carbone. — France.
Société anonyme pour le travail électrique des métaux. France.
Société française de l'accumulateur Tudor. — France.
Société française d'électro-métallurgie. — France.
La Volta. — France.
La Volta. — Suisse.

Grands prix.

Société d'électrochimie. — France.
Siemens et Halske. — Allemagne.
Société des carbures métalliques. — France.
Compagnie des produits chimiques d'Alais et de la Camargue. — France.
Solvay et Cie. — Belgique.
Société industrielle de l'ozone. — France.
Acheson (E.-C.). — Etats-Unis.

Médailles d'or.

La néo métallurgie. — France.
Electrical Power Storage Company limited. — Grande-Bretagne.
Chloride electrical Storage Syndicat limited. — Grande-Bretagne.
Accumulatorenfabrik Aktiengesellschaft. — Allemagne.
Société nouvelle de l'accumulateur Fulmen. — France.
Compagnie général d'électricité (Accumulateurs Pulvis). — France.
Poulenc frères. — France.

Corbin et Cie. — France.
Leclanché et Cie. — France.
Contenau et Godart fils. — France.
Société anonyme des établissements Grauer et Cie. — France.
Pollak. — Allemagne.
Delval et Pascalis. — France.
Pollak. — Autriche.
Société anonyme de la Pile-Bloc. — France.
Société française des accumulateurs Phénix. — France.
Société de l'Ambroïne. — France.
Manufacture des glaces et produits chimiques de Saint-Gobain, Chauny et Cirey. — France.
Hellesen. — Danemark.
Société anonyme de la fabrique d'accumulateurs. — Hongrie.
Alvin Manufactory Company. — Etats-Unis.
Société d'électro-gravure. — Allemagne.
Société anonyme de la fabrique d'accumulateurs. — Autriche.

Médailles d'argent.

Berne. — France.
Bertrand. — France.
Mors et Cie. — France.
Pisca. — France.
Dinin. — France.
Wüste et Rupprecht. — Autriche.
Société anonyme d'éclairage et d'applications électriques d'Arras. — France.
Heinz. — France.
Foras. — France.
Bertolus. — France.
Compagnie générale d'électrochimie. — France.
Dujardin. — France.
Martinet Dessolle et Cie. — France.
Société française pour la construction des accumulateurs électriques Excelsior. — France.
Zipelius. — France.
Chalmeton. — France.
Rivaud. — France.
Clerc. — France.
Compagnie française des accumulateurs électriques l'Union. — France.
Cowper-Coles, Sherard. — Grande-Bretagne.
Hoffmann. — Luxembourg.

Médailles de bronze.

Becker, — France.
Champagne. — France.
Compagnie des carbures de calcium. — France.
Gourd et Dubois. — France.
Heraeus. — Allemagne.
Hubou. — France.
Société de la lampe « l'Inexplosible ». — France.
Viet. — France.
Société des voitures électriques. — France.
Société française de métallurgie hydro-électrochimique. — France.
Tribelhorn. Suisse.
Bourdin. — France.
Chesneau. — France.
Compagnie électrochimique. — France.
Société électrique du Nord. — France.
Dupont. — France.
Commelin et Viau. — France.
Société électrochimique du Giffre. — France.
Peyrusson. — France.
Boudreaux. — France.
Société électrique Hydra. — France.
Société électrique de constructions mécaniques. — Belgique.
Ducot. — France.

Mentions honorables.

Clarenc. — France.
Trillet. — France.
Gjerulff. — Danemark.
Leroy. — France.

COLLABORATEURS

Grands prix.

Gélis. — Christophle et Cie, France.
Frœlich (Dr). — Siemens et Halske, Allemagne.

Médailles d'or.

Lebeau. — Moissan, France.
Tonnard. — Société anonyme « le Carbone », France.
Hirtz. — Société du travail électrique des métaux, France.
Schmitt. — Société électro-métallurgie, France.
Gosselin. — Société industrielle de l'ozone, France.
Meslans. — Poulenc frères, France.
Sommaire. — Compagnie française des métaux, France.
Gomonet. — Société de l'accumulateur Blot, France.
Rieder. — Société de l'électro-gravure, Allemagne.
Wehrlin. — Wüste et Rupprecht, Autriche.
Heurtey. — Société de la pile Bloc, France.
Bricheux (A.). — Solway et Cie, France.
Grosjean. — Leclanché, France.
Ronard. — Société anonyme « le Carbone », France.

Médailles d'argent.

Bassinet. — Christophlo et Cie, France.
Granier. — Compagnie française des métaux, France.
Guichard. — Moissan, France.
Nobicourt. — Mors, France.
Hulin. — Société d'électrochimie, France.
Lebenhop. — Accumulateurs Fabrek, Allemagne.
Egly. — Siemens et Halske, Allemagne.
Herbert Butler. — Electrical Power Storaye company, Grande-Bretagne.
Renard. — Christofle et Cie, France.
Gresy. — Delval et Pascalis, France.
Bemont. — Etard, France.
Jumeau. — Société de travail électrique des métaux, France.
Berhard. — Société des carbures, France.
Tone (J.-J.). — Acheson, Etats-Unis.
Lalande (de). — Digeon, France.
Fitz Gérald. — Acheson, Etats-Unis.
Pretot. — Compagnie française des métaux, France.
Philippin (E.). — Solway et Cie, France.
Girault. — Société de l'accumulateur Blot, France.

Projets de câbles sous-marins français (El, p. 593, 10 août).
Le nouveau navire télégraphique « John Pender » (El, p. 407, 6 juillet).
Résumé historique et statistique du service des télégraphes au Japon, d'après une brochure communiquée par l'administration japonaise (J T, p. 104, 25 mai).
Résumé historique et statistique du service des télégraphes au Japon (J T, p. 126, 25 juin).
Relation statistique du Ministère des postes et télégraphes du royaume d'Italie pour l'année financière 1897-98 (J T, p. 121, 25 juin).
Les télégraphes et les téléphones dans les Pays-Bas en 1898. Extrait du rapport de gestion de l'administration des postes et des télégraphes pour l'année 1898 (J T, p. 102, 25 mai).
Les télégraphes et les téléphones en Russie en 1898 (J T, p. 131, 25 juin).
Téléphone à grande distance ; M.-I. Pupin (E R N Y, p. 541, 560, 23 et 30 mai).
Perfectionnements du docteur Pupin dans la téléphonie à grande distance ; Herbert-T. Wade (E R, p. 1039, 22 juin).
Sur la possibilité de la téléphonie transatlantique ; M.-I. Pupin (E R N Y, p. 583, 6 juin).
Le téléphone ; Brunelli (Els, p. 175, août).
Systèmes téléphoniques ; W.-S. Henry (A E, p. 401, août).
Nouveau système téléphonique à batterie centrale de la North Electric Company, à Cleveland (E R N Y, p. 114, 1er août).
Systèmes téléphoniques d'appartement ; W.-S. Henry (A E, p. 300, 353, juin, juillet).
Tableau commutateur téléphonique multiple de Saint-Etienne ; L. Montillot (Elé, p. 65, 4 août).
Tableaux, commutateurs téléphoniques ; M.-J. Anizan (J T, p. 97, 25 mai).
Nouveau tableau téléphonique central de Münich avec signaux à lampes à incandescence (E T Z, p. 714, 735, 755, 23 et 30 août, 6 septembre).
Appareils téléphoniques Davis (E W, p. 297, 25 août).
Transmetteur téléphonique Solid-back ; L. Montillot (Elé, p. 405, 30 juin).
Transmetteurs et récepteurs téléphoniques système Ducousso ; L. Montillot (Elé, p. 340, 2 juin).
Transmetteurs et récepteurs téléphoniques, système Burgunder ; L. Montillot (Elé, p. 387, 23 juin).
Nouveau microphone Mix et Genest (E T Z, p. 700, 16 août).
Système d'appel pour lignes téléphoniques ; H.-L. Webb (E T Z, p. 531, 28 juin).
Mécanismes électromagnétiques avec références spéciales aux appareils téléphoniques ; R.-A. Fessenden (J F I, p. 106, août).
Le nouveau bureau téléphonique de Berlin ; Lindow (E T Z, p. 621, 26 juillet).
Sur quelques défauts intéressants constatés sur les circuits téléphoniques ; Busyback (E R, p. 127, 27 juillet).
Une curieuse expérience téléphonique ; E. Piérard (Elé, p. 309, 19 mai).
Une expérience intéressante avec les appareils téléphoniques (E T Z, p. 443, 31 mai).
Notes historiques sur le téléphone ; I. Brunelli (Els, p. 151, 1er juillet).
Loi, décret, convention et règlement concernant le service des téléphones entre la France et le Luxembourg (J T, p. 132, 25 juin).
Rapport sur l'exploitation des téléphones en Bavière et Wurtemberg (E T Z, p. 676, 9 août).
Le téléphonographe de Poulsen (D E L, p. 293, 23 juin).
Le télégraphone (E T R, p. 192, 1er juillet).
Protection des lignes téléphoniques et télégraphiques contre les tramways électriques à conducteurs aériens ; Piérard (A I M, p. 171, février et mars).

Eclairage.

Sur les principes de l'éclairage ; Dr Louis Bell (E W, p. 980, 92, 177, 244, 30 juin, 21 juillet, 4 et 11 août).
Les trépidations de la lumière et les moyens de les éviter ; K. Schindler (E T R, p. 182, 15 juin).
L'éclairage des petites villes ; G.-M. Harris (E R, p. 1074, 22 juin ; El, p. 398, 6 juillet).
Lampes à grand rendement ; J. Whitcher (E R, p. 947, 1er juin).
Théorie de l'arc électrique fondée sur la dissociation C. D. Child (P R, p. 151, mars).
L'éclairage des rues par lampes à arc alternatif en série ; Arthur L. Rice (A E, p. 379, août).
Système de distribution pour lampes à arc ; Alton. D. Adams (E R N Y, p. 82, 25 juillet).
Eclairage public par arc enfermé ; W. L. Robb (E R N Y, p. 532, 23 mai ; E R N Y, p. 563, 30 mai).
Comparaison entre les lampes à arc enfermé et les lampes à arc libre pour l'éclairage public ; H. H. Wait (A E, p. 274, juin).
Sur le choix des lampes à arc ; Wilbur M. Stine (A E, p. 327, juillet).
Lampe à arc alternatif ; M. de Lénart (S I E, p. 235, juin).
La lampe à arc en vase clos « Ark » ; A. Bainville (Elé., p. 74, 4 août).
La lampe « Hollub » ; J.-A.-M. (Elé., p. 73, 4 août).

Lampes à arc Mathiesen (D E L, p. 389, 18 août).
Lampe à arc double (E T R, p. 196, 1er juillet).
Les brevets sur la lampe de Nernst (E W, p. 22, 7 juillet).
Lampes à incandescence; Francis W. WILCOX (J F I, p. 419, juin; Z E T, p. 424, 26 août, p. 435, 2 septembre).
Lampes à incandescence; Ed. C. de SEGUNDO (E R, p. 119 et 129, 20 et 27 juillet).
Sur la disposition la plus convenable des lampes à incandescence; Alton D. ADAMS (E R N Y, p. 512, 16 mai).
Relation entre le prix et le rendement des lampes à incandescence et le coût de l'énergie électrique (E R, p. 359, 31 août).
Rapport du Comité de la National Light Association sur la puissance lumineuse des lampes à incandescence (E R N Y, p. 601, 6 juin).
Lampes électriques à incandescence de la maison Sturm et Cie (Z E T, p. 316, 24 juin).
Suppression du culot dans les lampes à incandescence; J.-A. MONTPELLIER (Elé, p. 7, 7 juillet).
Supports de lampes et supports de conducteurs isolés (D E L, p. 247, 26 mai).
Résistance pour le réglage des lampes à incandescence, système Hummel et Helberger (D E L, p. 295, 23 juin).
Nouveau type de jeux d'orgue de théâtre de la Wirt Electrique Compagnie (E W. p. 108, 21 juillet).
L'éclairage électrique des trains sur les chemins de fer italiens; F. TAJANI (Els., p. 129, 1er juin).
Système d'éclairage automatique des trains (E R N Y, p. 11, 4 juillet).
Eclairage électrique des trains; Geo. D. SHEPARDSON (E W, p. 5, 7 juillet).
La lumière électrique à l'Exposition universelle (Z E T, p. 348, 15 juillet).
Installation d'éclairage par arc de la paroisse Saint-Martin (El., p. 207, 1er juin).

Applications thermiques.

Chauffage électrique et ventilation combinés (E R N Y, p. 135, 8 août).
Procédé de chauffage électrique pour le recuit des plaques de blindage; C. J. DOUGHERTY (E R N Y, p. 259, 14 mars).
La soudure électrique en Russie (E N A, p. 11, 1er février).
Appareil pour l'allumage des moteurs à gaz (E R N Y, p. 137, 8 août).
La soudure électrique du zinc; CALMEAU (A I M, p. 214, février-mars).

Electrochimie.

L'électrochimie à l'Exposition de Paris; Prof. Dr. W. BORCHERS (Z E C, p. 36, 26 juillet; p. 45, 69, 77, 85 et 93, 2, 9, 16, 23 et 30 août).
Les progrès de l'électrochimie en 1899; Charles MARGOT (I E C, p. 37, avril 1900; E C, p. 93, juillet).
L'électro-métallurgie en 1899; M. P. CHALON (R I, p. 205, 26 mai).
Progrès de l'électrochimie; Mollwo PERKIN (E R N Y, p. 12, 4 juillet).
Sur les fours à carbure discontinus et continus; O. FRÖLICH (Z E C, p. 1, 5 juillet).
Production de l'acier et du fer par le four électrique, procédé Stassano A. B. (Elé., p. 56, 28 juillet).
Procédé Stassano pour la production du fer et de l'acier; J. B. C. KERSHAW (E R, p. 1006, 15 juin).
Sur l'action des hautes températures sur les oxydes; J. SOHLMANN (E T Z, p. 675, 9 août).
La production électrolytique de la soude et du chlore; James F. HOBART (A E, p. 299, juin; p. 404, août).
Procédé pour la préparation des hypochlorites et des chlorates par l'électrolyse; Dr Paul IMHOFF (E C Z, p. 86, 1er juillet).
Sur le dégagement d'oxygène à l'anode dans l'électrolyse des solutions de chlorure alcalin; F. FOERSTER et H. SONNEBORN (Z E C, p. 597, 21 juin).
Sur la production électrolytique des solutions d'hypochlorite pour le blanchiment et la désinfection; J. B. C. KERSHAW (El., p. 289, 15 juin).
Notes sur le forage électrolytique des métaux; Sherard COWPER-COLES (E R, p. 131, 27 juillet).
Progrès récents dans l'industrie de l'aluminium; J. W. RICHARDS (J F I, p. 451, juin).

L'électrogalvanisation des tubes de chaudières (E, p. 130, 27 juillet).
Production électrolytique du zinc au moyen d'anodes insolubles (J. Rontschenski (Z E C, p. 29, 19 juillet).
Affinage électrolytique du cuivre par le procédé Cowper-Coles ; A. Bainville (Elé., p. 406, 30 juin).
Nikelage au tonneau, système Grauer et Cie; Georges Dary (Elé., p. 49, 28 juillet).
Sur la régénération de l'acide chronique des matières résiduaires contenant de l'oxyde de chrome ; Regelsberger (I E C, p. 59, juin).
L'électrochimie dans les ateliers de teinture et d'impression ; A. E. Sunderland (El., p. 703, 31 août).
Recherches sur l'oxydation électrolytique des alcools gras ; K. Elbs et O. Brunner (Z E C, p. 604, 21 juin).
Sur la synthèse des substances organiques au moyen de l'électricité ; Arthur Kendrick (Z E C, p. 52, 2 août).
Etude sur l'oxydation des matières organiques au moyen d'acide chronique dans un bain électrolytique ; Friedrich Darmstadter (E C Z, p. 131, 1er septembre).
Formation électrolytique de dépôts de minerais dans les mines (E R N Y, p. 175, 22 août).
Appareil compte-gouttes pour analyse électrolytique ; Raoul Girouard (E C Z, p. 111, 1er août).

Mesures.

Sur les unités électriques ; Budde (El., p. 377, 16 juin).
Grandeurs et unités électriques. — Nomenclature et définitions. — Symbole et abréviations ; E. Hospitalier (I E, p. 321, 10 août).
Sur la variation de la chaleur spécifique de l'eau entre 0° et 100° ; H. L. Callendar et H. T. Barnes (P R, p. 202, avril).
Types hermétiques de piles étalons Clark ; H. T. Barnes (P R, p. 268, mai-juin).
Polarisation et résistance intérieure du voltamètre à cuivre ; B. E. Moore (P R, p. 34, janvier).
Influence de la température, de la pression de la nature des solutions et de la grandeur de l'anode sur les dépôts d'argent dans les voltamètres ; J. F. Merrill (P R, p. 167, mars).
Instruments de précision pour courant alternatif de l'Allgemeine Elektricitäts Gesellschaft ; Gustav Benischke (Z E T, p. 333, 8 juillet ; D E L, p. 365, 4 août).
Instruments de mesures électriques ; Fr. Stevens (E R N Y, p. 16 et 34, 4 et 11 juillet ; J F I, p. 44, juillet).
Appareils indicateurs et inscripteurs « Column » (E W, p. 222, 11 août).
Galvanomètre blindé ; H. Du Bois et H. Rubens (D A, p. 84, n° 5).
Sur l'amortissement des galvanomètres ; Maurice Salomon (P M, p. 559, juin).
Clé de court-circuit pour galvanomètre ; A. Bainville Elé., p. 50, 28 juillet).
Boussole marine pour la vérification des compas de route (R I, p. 245, 30 juin).
Electrodynamomètres-balances de lord Kelvin ; A. Montpellier (Elé, p. 401, 30 juin).
Compteur sans frottement ; S. Evershed (El., p. 283, et 328, 15 et 22 juin, p. 438, 13 juillet ; E R, p. 986, 8 juin, p. 513, 27 juillet, p. 562, 3 août ; J E E, p. 743, juillet).
Sur les compteurs à courants triphasés ; J. A. Möllinger (E T Z, p. 573, et 597, 12 et 19 juillet).
Description du compteur O'K. (Z E T, p. 281, 3 juin).
Compteur d'électricité à courants alternatifs (E T R, p. 181, 15 juin).
Compteur inscripteur et indicateur de la Whitney Electrical Instrument Company (E R N Y, p. 128, 8 août).
Volts-heures-mètre O'Keenan (E T Z, p. 441, 31 mai).
Modification de la méthode de Mance pour déterminer la résistance des piles ; Louis-W. Austin (El, p. 713, 31 août).
Note sur l'emploi du fil de garde de Price dans les mesures d'isolement ; Ayrton Mather (E R, p. 320, 24 août).
Recherche des défauts des âmes de câbles ; Rollo Appleyard (E R, p. 391, 24 août).
Appareil portatif de lord Kelvin pour mesurer la conductance des joints de rails ; M. Aliamet (Elé, p. 338, 2 juin).
Sur les mesures absolues de capacité ; J. Elton Youreg (J E E, p. 941, juillet).
Détermination des capacités électrostatiques par la méthode du pont téléphonique du professeur Pupin ; M. Aliamet (Elé, p. 289, 12 mai).
Appareil pour la mesure de l'intensité des champs magnétiques ; A. Cotton (J P, p. 383, juillet).
Instruments de mesure des courants alternatifs (E T R, p. 171, 1er juin).
Méthode directe d'analyse des courants alternatifs (E T Z, p. 752, 6 septembre).
Indicateur électrique pour la détermination des courbes de charges relatives des machines en activité ; P.-V. Kowaleff (E T Z, p. 502, 21 juin).
Nouvelle méthode de comparaison de deux self-inductances ; H.-V. Carpenter (P R, p. 52, janvier).
Méthode pour la détermination de la puissance d'un courant alternatif au moyen de voltmètres et d'ampèremètres ; Eugen Reisz (E T Z, p. 713, 23 août).
Appareil de mesure universel pour réseaux télégraphiques ; F. Breisig (E T Z, p. 538, 28 juin).
Sur l'emploi des appareils inscripteurs dans les mesures électriques ; W. Marek (E T Z, p. 641, 2 août).
Loch électrique M. Gray (E R N Y, p. 99, 1er août).
Quelques méthodes pour déterminer expérimentalement les moments d'inertie des dynamos et des alternateurs ; Alfred Hay (E R, p. 287, 327, 24 et 31 août).

Tome XXIV — Samedi 29 Septembre 1900. — 7e Année. — N° 39.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

SOMMAIRE

Adresser tout ce qui concerne la Rédaction à M. J. BLONDIN, 171, Faubourg-Poissonnière (9e arrondissement).

BREVETS D'INVENTION

BF : Brevet français. — BP : Patente anglaise — DRP : Patente allemande — USAP : Patente américaine.

La liste des brevets français est communiquée par l'Office E. Barrault, 17, Boulevard de la Madeleine, Paris.

Dynamos et moteurs.

Gehre. 13233, B P, 1899. Appareil pour la production de l'électricité au moyen de la puissance du vent.

Société Japy frères et Cie. 299 540, B F, 21 avril 1900. Groupe électrogène.

Sayers. 14 569, B P, 1899. Dynamos.

Mordey (W.-M.). 653 963, U S A P, 25 octobre 1898. Machine dynamo.

Aktien Gesellschaft Elektricitats Werke vorm O.-L. Kummer et Co. 11 189, B P, 1899. Machines dynamos.

Simms and Bosch. 7 108, B P, 1900. Machine électro-magnétique.

Mix et Genest. 12 274, B P, 1899. Machines magnéto-électriques.

Short. 7 098, B P, 1900. Machines multipolaires.

Damelincourt. 298 538, B F, 24 mars 1900. Perfectionnements aux machines dynamoélectriques.

Société the automatic magneto electric ignition cy limited. 299 410, B F, 18 avril 1900. Perfectionnements dans les machines magnétoélectriques.

Henricks (G.-W.). 653 967, U S A P, 30 avril 1900. Machine magnéto pour allumage de moteur à gaz.

Lundell. 6 069, B P, 1900. Génération de courants continus et appareils correspondants.

Limb. 300 106, B F, 8 mai 1900. Dispositif permettant de faire varier dans les dynamos et moteurs électriques, l'admission du flux magnétique par déplacement relatif de l'inducteur et de l'induit, tout en maintenant constante l'épaisseur même de l'entrefer dans le sens du flux.

Short. 299 342, B F, 17 avril 1900. Dispositif pour équilibrer les machines électriques multipolaires.

Hutin (Maurice) et Leblanc (Maurice). 653 088-89 U S A P, 13 avril 1899. Appareil pour exciter les machines à courant alternatif.

Union E. G. 112 707, D R P, 1er août 1899. Dispositif d'excitation pour alternateur.

Cutler (H.-H.). 653 471-472, U S A P, 24 août 1899. Régulateurs pour machine dynamo électrique.

British Thomson-Houston Co (Ltd). 23 738, B P, 1899. Régulation d'alternateurs.

British Thomson, etc. 25 745, B P, 1899. Régulation de machines dynamos.

Steinmetz. 5806 B P, 1900. Régulation des machines dynamos.

Deri. 298 167, B F, 13 mars 1900. Enroulement d'inducteur pour machines à courant continu et convertisseurs, destiné à produire simultanément la commutation sans étincelles et le réglage de la tension.

Mavor. 9 989, B P, 1899. Régulation des moteurs actionnant des dynamos.

Motsinger (Homer-Napoléon) et Motsinger (Newel-Hansberry). 296 914, B F, 5 février 1900. Dispositif perfectionné de transmission de mouvement plus spécialement destiné à la commande des dynamos.

Chaplin. 15178, B P, 1899. Balais de dynamos.

Poole. 11 901 B P, 1899. Porte-balais.

Mix. 6 028, B P, 1900. Supports de balais.

Kaeferle. 297 727, BF, 1er mars 1900. Collecteur pour machines électriques.

Karmin. 12 565, B P, 1899. Enroulement de dynamos et de moteurs.

Short (S.-H.). 112 777, DRP, 10 août 1897. Enroulement d'induit pour machine électrique.

Lindstrom, Hewitt (John) et Hewitt (Thomas). 298 649, B F, 27 mars 1900. Dispositif pour fixer les bobines de champ magnétique des moteurs électriques et dynamos.

Anderson. (J.-C.). 654 583, U S A P, 7 février 1900. Machines pour enrouler et isoler les bobines électriques.

Scott Varley and Anderson. 6 185, B P, 1900. Appareil pour enrouler les bobines.

Stewart (B.-A.). 655 279, U S A P, 28 novembre 1899. Machine à enrouler les bobines.

Rothert (A.). 112 197, D R P, 8 juillet 1899. Bobine d'induit à tambour.

Siemens et Halske (A.-G.). 108 222, D R P, 26 janvier 1899. Disposition pour fixer les anneaux de tôle dans le bâti d'une dynamo ou d'un moteur.

Sächsische Accumulatorenwerke (A.-G.). 112 095, D R P, 29 juin 1899. Pièce polaire pour machine électrique.

Hall et Robertson. 11 227, B P, 1899. Ventilation des électromoteurs et des dynamos.

Compagnie française pour l'exploitation des procédés Thomson-Houston. 298 375, B F, 20 mars 1900. Nouveau système de cale servant à assurer la ventilation des induits en tôle laminée.

Storer. 297 619, B F, 27 février 1900. Perfectionnements aux générateurs et moteurs électriques.

Johannesen (S.-E.). 652 027, U S A P, 14 février 1900. Transformateur.

Loringand Clark. 1 445, B P, 1900. Transformateur.

Wood (J.-J.). 652 990, U S A P, 3 mars 1900. Transformateur électrique.

Helios (E.-A.-G.). 112 065, D R P, 13 mars 1899. Transformateur pour courant polyphasé.

Société Elektra Gesellschaft Beschrankter Haftung, 299 941, B F, 2 mai 1900. Nouveau genre de transformateur.

FERRAND. 299 252, 13 avril 1900. Système de transformateur électrique à courant continu.

SOCIÉTÉ DITE HELIOS ELECTRICITÄTS AKTIEN GESELLSCHAFT. 298 329, BF, 17 mars 1900. Perfectionnements apportés aux transformateurs redresseurs de courants alternatifs monophasés ou polyphasés.

HUTIN et LE BLANC. 655 237, USAP, 28 avril 1899. Appareil pour transformation des courants alternatifs en courants continus et vice versa.

A.-G.-E. (Vorm. O.-L. KUMMER et Cie). 111 640, DRP, 3 février 1899. Procédé de transformation de courant alternatif monophasé ou polyphasé en courant continu et inversement.

A. E. G. 112 064, DRP, 11 décembre 1898. Dispositif de régulation pour transformateur de courant continu en alternatif et inversement.

COMPAGNIE FRANÇAISE POUR L'EXPLOITATION DES PROCÉDÉS THOMSON-HOUSTON. 299 934, BF, 2 mai 1900. Redresseur de courants électriques alternatifs.

COMPAGNIE FRANÇAISE POUR L'EXPLOITATION DES PROCÉDÉS THOMSON-HOUSTON. 299 935, BF, 2 mai 1900. Redresseur de courants électriques alternatifs.

WYDTS A. et WEISSMANN G. 111 822, DRP, 2 avril 1899. Disposition pour le changement de tension des courants continus.

UNION ELEKTRIZITATS GESELLSCHAFT. 111 175, DRP, 9 août 1899. Disposition pour établir une différence de phase de 90° entre deux champs magnétisants.

SIEMENS et HALSKE G. 108 176, DRP, 26 janvier 1899. Procédé pour décomposer un courant alternatif en deux phases différant d'un angle déterminé. Addition au brevet 94 564.

KUMMER O.-L. et Co (A. G. E. VORM). 108 776, DRP, 7 juillet 1899. Transformateur pour alimenter une installation à trois fils par un réseau à deux conducteurs.

FESSENDEN (R.-A.). 654 390, USAP, 1er décembre 1899. Bobine d'induction.

VOGT. 299 629, BF, 24 avril 1900. Perfectionnements aux appareils d'induction.

D'ARSONVAL. 297 768, BF, 2 mars 1900. Système de bobine d'induction pour la production de courants de haute fréquence.

GRISSON (R.). 111 810, DRP, 12 juin 1898. Dispositif pour éviter la formation d'étincelles dans l'alimentation des bobines d'induction par courant interrompu.

SPUHL (H.). 650 995, USAP, 8 mars 1900. Moteur.

PIEPER AND PIEPER. 7 084, BP, 1900. Moteurs.

BUNDY (C.-L.). 651 945, USAP, 6 juin 1898. Moteur électrique.

OELSCHLAGER (E.-G.-P.) et SCHROTTKE. 655 268, USAP, 27 décembre 1897. Moteur électrique.

STILL. 12 165, BP, 1899. Moteur électrique.

WHITE (H.-O.). 651 909, USAP, 18 octobre 1899. Moteur électrique.

WOODWARD (D.-C.). 653 725, USAP, 6 septembre 1898. Moteur électrique.

ROSLING et APPLEBY. 13 276, BP, 1899. Moteurs et dynamos cuirassés.

PHELPS (L.-J.) 653 879, USAP, 19 mai 1900. Moteur de traction.

MOODY (W.-S.). 654 999, USAP, 7 mai 1898. Moteur de ventilateur.

ANDREWS (E.-M. et M.-U) et CONGER (C.-M.). 652 952, USAP, 10 mai 1900. Moteur magnéto-électrique.

LE ROND. 10 697, BP, 1899. Appareil rotatif à courant continu utilisable comme moteur ou comme pompe à gaz ou à liquide.

HOLLICH. 13 646, BP, 1899. Appareil producteur de puissance motrice.

FIGUERAS. 299 203, 12 avril 1900. Perfectionnements aux moteurs électriques à courant continu.

SOCIÉTÉ D'ÉTUDES « VOITURES ÉLECTRIQUES DE PARIS ». 111 943, DRP, 28 juin 1899. Disposition pour diminuer la consommation et augmenter la force de traction pendant la marche d'un électro-moteur.

WOLFF (H.). 108 175, DRP, 19 mars 1899. Moteur à courant continu avec induit fixe et champ magnétique tournant.

BRITISH THOMSON, etc. 25 453, BP, 1899. Moteur à courants alternatifs.

BROWN (E.-W.). 653 906, USAP, 29 janvier 1900. Moteur à courant alternatif.

DERI. 4 785, BP, 1900. Moteur à courants alternatifs.

YATES et BENT. 5 167, BP, 1900. Moteur à courant alternatif.

THOMPSON. 13 991, BP, 1899. Moteur à courant alternatif simple.

BURKE. 299 433, BF, 19 avril 1900. Induit pour moteurs à courants alternatifs.

BURKE. 23 663, BP, 1899. Armature pour moteurs à courants alternatifs.

LAMME. 299 184, 12 avril 1900. Perfectionnements aux moteurs électriques polyphasés.

HEYLAND (A.). 112 063, DRP, 1er février 1898. Disposition pour changer le nombre de pôles d'un moteur alternatif.

LAMME (B.-G.). 112 314, DRP, 22 août 1899. Moteur d'induction avec résistance spéciale partiellement inductive.

KLOSS (M.). 111 985, DRP, 1er décembre 1899. Disposition de moteur à champ tournant pour obtenir deux vitesses différentes. Add. au brevet 109 986.

E. A. G. VORM. SCHUCKERT. 112 094, DRP, 24 mai 1899. Disposition d'enroulement de moteur asynchrone pour obtenir des vitesses différentes par le changement du nombre de pôles.

BURKE (J.). 108 265, DRP, 7 septembre 1898. Procédé de démarrage des électro-moteurs.

CUTLER (H.-H.). 653 470, USAP, 8 juin 1899. Appareils de démarrage automatique pour moteurs.

FRASER (E.-M.). 655 335, USAP, 11 mars 1899. Appareil de démarrage pour moteur.

GEORGES (Y.-H.-F.). 655 340, USAP, 31 décembre 1897. Appareil de démarrage pour moteur.

THOMSON-HOUSTON (BRITISH Co). 11 843, BP, 1899. Dispositif de démarrage des moteurs d'induction.

WOOD (J.-J.). 654 299, USAP, 30 mars 1900. Appareil de démarrage pour moteur.

LEITNER (Henry). 652 124, USAP, 10 juillet 1899. Appareil de commande des moteurs électriques.

LUNDELL (Re). 654 551, USAP, 19 mai 1900. Dispositifs de régularisation des moteurs électriques.

MAISON KRUPP. 298 759, BF, 30 mars 1900. Dispositif de mise en marche et de changement de marche pour électromoteurs.

HALL (J.-L.). 652 360, USAP, 10 mai 1900. Rhéostat de moteur.

LINCOLN. 297 895, BF, 6 mars 1900. Appareil de contrôle pour moteurs électriques.

BERG (E.-J.). 654 595, USAP, 26 mai 1900. Méthode de contrôle des moteurs synchrones.

dispositifs propres à maintenir automatiquement constants les courants et les tensions électriques.

Société Sautter, Harle et Cie. 299 075, BF, 9 avril 1900. Nouveau système de régulation automatique du voltage de plusieurs dynamos à courant continu réunies en quantité.

Hull (B.-O.). 652 775, USAP, 1er mars 1899. Régulateur de courant alternatif.

King (W.-W.). 653 093, USAP, 30 octobre 1899. Appareil pour fournir un courant de voltage déterminé aux conducteurs dérivés des conducteurs principaux de haut voltage.

Klingenberg. 299 368, BF, 17 avril 1900. Distributeur automatique d'électricité.

Ulait et Garbe. 297 986, BF, 8 mars 1900. Distributeur de courants électriques.

Société Ch. Mildé fils et Cie et Malterre. 298 364, BF, 20 mars 1900. — Procédé pour fermer et couper automatiquement un circuit électrique soit d'une manière alternative intermittente, soit d'une manière alternative continue.

Thomson (E.). 655 032, USAP, 26 mars 1900. Système de rectification des courants.

Toron (F.-E.). 654 498, USAP, 11 mai 1900. Système de tarification.

Hackethal (L.). 650 972, USAP, 20 décembre 1898. Conducteur.

Ostergren. 650 987, USAP, 27 juin 1899. Conducteur.

Colley. 15 309, BP, 1899. Conducteurs électriques isolés.

Gesner (G.-W.). 651 033, USAP, 19 décembre 1899. Fabrication de conducteurs électriques.

Buchanan (J.-Y.). 654 871, USAP, 18 mai 1900. Câble électrique.

Heyl-Dia. 11 446, BP, 1899. Câbles électriques.

Nisbett (G.-H.). 655 265, USAP, 28 décembre 1897. Câble électrique.

Edmunds (Henry). 652 671, USAP, 1er mai 1900. Câble isolé.

Edmunds. 299 674, BF, 24 avril 1900. Perfectionnements aux câbles ou conducteurs électriques isolés.

Routledge. 10 301, BP, 1899. Systèmes aériens de transmission de l'énergie.

Hanger (G.-C.). 654 983, USAP, 11 juillet 1900. Tendeur de câble.

Gould (J.-D.). 653 448, USAP, 10 juillet 1899. Supports pour câble électrique thermostatique.

Lorain. 297 512, BF, 22 février 1900. Système de supports tubulaires pour lignes électriques.

Délano (L.-P.). 111 653, DRP, 16 juin 1899. Support avec surface de contact composée de différentes parties.

Harburger Gummikamm Cie. 111 318, DRP, 28 août 1898. Isolateur de porcelaine ou de verre avec revêtement de caoutchouc dur ou mou.

A. E. G. 112 330, DRP, 13 décembre 1898. Procédé de fabrication de conducteurs métalliques avec isolement de verre ou d'émail.

Morrison. 10 608, BP, 1899. Conduit pour conducteurs électriques.

Greenfield (E.-T.). 651 483, USAP, 18 décembre 1899. Conduites pour conducteurs.

Boutillier and Hunter. 6 188, BP, 1900. Conduits armés pour fils.

Schellbach (E.). 112 752, DRP, 15 octobre 1898. Agglomérés munis de canaux pour la disposition des conducteurs électriques.

Howard. 2 964, BP, 1900. Tubes et conduits pour conducteurs.

Osburn (H.-G.). 652 806, USAP, 8 décembre 1898. Enveloppe de câbles flexible.

Hartmann et Braun. 12 667, BP, 1899. Armature mise à la terre pour conducteurs tubulaires.

Ehlers. 298 172, BF, 14 mars 1900. Canalisation électrique à contacts séparés.

American Vitrified Conduit Co. 4 268, BP, 1900. Outils pour la pose des conduites en poterie pour conducteurs électriques.

The Steel Nut and Joseph Hampton (Ltd) and Hampton. 17 319, BP, 1899. Outillage pour la mise en place des câbles souterrains.

Société American Vitriefied Conduit Company. 297 905, BF, 6 mars 1900. Perfectionnements aux outils employés à la pose des conduites en terre cuite pour conducteurs électriques.

Société dite : Gans es Tarsa Vasonto Es Gepgyar Reszveny Tarsulat et M. Szanka. 297 557, BF, 24 février 1900. Système de revêtement bon conducteur de l'électricité applicable aux objets en matière pierreuse comprimée ou pulvérulente.

Schaefer. 5 394, BP, 1900. Procédé d'isolement des conducteurs électriques.

Frank. 3 545, BP, 1900. Isolation de conducteurs.

Jung, Brecher et Kittel. 298 307, BF, 17 mars 1900. Matière isolante.

Tungbluth. 18 870, BP, 1899. Procédé de fabrication de substance isolante.

Heyl-Dia. 9 811, BP, 1899. Substance isolante pour câble.

Cordner. 13 846, BP, 1899. Fabrication d'une composition fibreuse pour isolement.

Sander. 3 731, BP, 1900. Fabrication de substances non conductrices.

Mlle Petit et M. Bougeaurd. 298 123, BF, 29 mars 1900. Enrobage incombustible pour conducteurs électriques.

Grote (L.). 111 172, D R P, 11 octobre 1898. Procédé de fabrication de bandes couches ou autres formes isolantes pour humidité et acidité continuelles.

Van Gestel (J.-T.). 653 715-716, U S A P, 1er novembre, 3 mai 1899. Appareil pour le traitement électrique des matières imperméables.

Shattuck (A.-R.). 112 753, D R P, 20 mai 1899. Liaison de conducteurs isolée et imperméable pour appareils électriques.

Kurtz (J.-C.). 651 143, U S A P, 19 mars 1900. Connecteur de câbles,

Mac Tighe (T.-J.). 650 860 ; 61 ; 62 ; U S A P, 30 mars 1900 ; 30 mars 1900 ; 27 février 1900. Connecteur de câbles.

Mac Intyre. 653 033, U S A P, 16 mars 1900. Connecteur de fils.

White, 5 178, B P, 1900. Procédés pour connecter les câbles.

Brown, 299 807, B F, 28 avril 1900. Système de jonction électrique des extrémités voisines des deux conducteurs.

Crowley (I -J.). 650 928, U S A P, 8 juillet 1899. Dispositif d'attache des conducteurs aériens.

Mac Intire et Gartner. 299 864, B F, 30 avril 1900. Perfectionnements dans les joints pour fils.

White. 5 179, B P, 1900. Outils et procédés pour faire et comprimer les joints des conduites en plomb pour câbles électriques.

Rawlings et Rawlings. 4 369, B P, 1900. Coupleurs pour connexion électrique.

Langton. 5 698, B P, 1900. Méthode et moyens de protection des connexions électriques.

Brown. 297 673, B F, 28 février 1900. Connexions non oxydables et permanentes entre les conducteurs électriques en fer et en acier.

White. 299-305-306, B F, 14 avril 1900. Manufacture des joints pour câbles électriques.

Hall. 16 854, B P, 1899. Dispositifs divers de connexion.

Callender. 11 693 B P, 1899. Dispositif de branchement de circuits dérivés sur les conducteurs principaux.

Basset (N). 654 703, U S A P, 30 décembre 1899. Boîte de jonction.

Greenfield (E.-T.). 651 484, U S A P, 8 février 1900. Boîtes de jonction.

Hundhausen (R.). 654 310. U S A P, 18 novembre 1899, Boîte de jonction.

Waterhouse and simplex steel conduit. 2 119, B P, 1900. Boîte de jonction.

Wilkinson. 10 109, B P, 1899. Boîtes de jonctions.

Carleton (H. Guy). 653 132, U S A P, 23 septembre 1899. Contrôleur de circuits.

Jordan (T.-F.). 652 116, U S A P, 20 mars 1900. Rhéostat.

De Kandò. 16 960, B P, 1899. Rhéostats.

Marr Loidler. 8 188, B P, 1899. Rhéostat.

Wirt (Ch.). 111 942, D R P, 27 janvier 1899. Rhéostat avec bobines de résistance disposées en cercle autour d'un ressort de contact.

Cance et fils. 298 801, B F, 31 mars 1900. Perf. aux rhéostats à galet curseur.

Société H. Harmel et C. Toussaint. 298 911, 4 avril 1900. Système de rhéostat automatique.

Lévy. 10 081, B P, 1899. Résistances électriques.

Lévy (M.). 111 804, D R P, 31 août 1898. Résistances électriques fixée par de l'émail ou matière analogue sur des plaques métalliques.

Badeau (C.-C.). 651 063, U S A P, 30 mars 1900. Contact isolé.
Schoeller (G.-A.). 650 953, U S A P, 27 novembre 1899. Contact en charbon.
Allemann (Th.). 111 811, DRP, 27 avril 1899. Contact actionné par un mouvement d'horlogerie.
Holey et Sejournet. 298 085, B F, 12 mars 1900. Système de bouton de contact pour conduites électriques.
Bristish Thomson-Houston C° (Ltd). 25 451, B P, 1899. Commutateur.
British Thomson-Houston C° (Ltd). 25751, B P, 1899. Commutateur.
Ely (W). 651 595, USAP, 5 février 1898. Commutateur.
Ely (W). 654 239, U S A P, 24 mai 1897. Commutateur.
Hopstede-Crull. 15 525, B P, 1899. Commutateur.
Robb (J.-P.). 653 698, U S A P, 21 janvier 1900. Commutateur.
Wade and electric motive power, c° 13 111, B P, 1899. Commutateur.
Wright et Aalborg. 14 997, B P, 1899. Commutateurs.
Burke (J.). 653 945, U S A P, 27 janvier 1899. Commutateur à segment.
Holt et Atherley. 12 731, BP, 1899. Commutateurs pour hauts voltages.
Hopkinson. 10 863, B P, 1899. Commutateurs pour courants alternatifs.
Tirrill (P.-S.). 652 151, U S A P, 23 septembre 1899. Commutateur automatique.
Prepognot et Brothier de Rollieres. 298 382, B F, 20 mars 1900. Commutateur automatique pour régulateur de flux électrique et autres régulateurs.
Hofstede (R.-W.-H.). 112 138, D R P, 23 octobre 1898. Commutateur à levier avec ressort ne se tendant que pendant la mise hors circuit.
Ely. 299 992, BF, 4 mai 1900. Perfectionnements aux commutateurs.
Siemens et Halske Aktien Gesellschaft. 297 650, B F, 27 février 1900. Perfectionnements aux commutateurs multiples.
Société Hillairet et Huguet. 299 794, B F, 28 avril 1900. Nouveau système de commutateur limitateur d'accélération pour rhéostat de démarrage.
Jahn (A.-H.). 654 734, U S A P, 23 novembre 1899. Nettoyeur de commutateur.
Juste aîné. 298 728. BF, 29 mars 1900. Coupe-circuit.
Wurts (A.-Y.). 652 702, U S A P, 9 juin 1899. Coupe-circuit.
Malignani. 5032, B P, 1900. Coupe-circuit à maximum.
Maxim (H.-P.). 653 685, U S A P, 20 janvier 1899. Coupe-circuit automatique.
Scott (W.-M.). 654 847-848, USAP, 1er novemb. 1897. Coupe-circuit automatique.
Brady (T.-H.). 653 841, U S A P, 2 janvier 1900. Coupe-circuit fusible.
Schulz. 16 922, B P, 1899. Coupe-circuit fusible.
Cote (F.-A.). 652 748, U S A P, 31 mars 1899. Fabrication de coupe-circuits fusibles.
Smith et Corrie. 16 040, BP, 1899. Fusible électrique.
Stevens (A.-L.). 654 187, U S A P, 16 août 1899. Fusible de sûreté.
Davis. 14 998, B P, 1899. Blocs fusibles.
Keith (L.-A.). 655 243, U S A P, 11 septembre 1899. Bloc fusible.
Bretz et Canté. 113 434, D R P, 7 décembre 1899. Douille à vis pour fusibles et lampes. Addition au brevet 113 173.
Davis. 11 445, B P, 1899. Interrupteur.
Lühne (J.). 111 171, D R P, 1er octobre 1898. Interrupteur. Add. au brevet 105 974.
Stilwell. 9 681, B P, 1899. Interrupteur.
Kuhlo. 298 553, B F, 24 mars 1900. Interrupteur automatique.
Reed, Reed et Farrar. 3 106, B P, 1900. Interrupteur automatique.
Thompson. 12 787, B P, 1899. Interrupteur automatique à maximum.
Ducornuot (R.). 111 350, D R P, 15 février 1899. Interrupteur pour conducteur à haute tension.
Kohl (M.). 111 317, D R P, 8 juillet 1898. Interrupteur à courant alternatif pour inducteurs à étincelles.
Janik (E.). 108 713, D R P, 21 mars 1899. Interrupteur pour jeu d'orgue électrique.
De Mare. 25 072, B P, 1899. Interrupteur électrolytique.
Compagnie française pour l'exploitation des procédés Thomson-Houston. 297 878, BF, 6 mars 1900. Perfectionnements apportés aux interrupteurs et commutateurs de circuit à haute tension.
Compagnie française pour l'exploitation des procédés Thomson-Houston. 297 972, B F, 8 mars 1900. Perfectionnements aux interrupteurs et commutateurs pour hauts potentiels.
Compagnie française pour l'exploitation des procédés Thomson-Houston. 298 670, B F, 28 mars 1900. Perfectionnements apportés aux interrupteurs ou commutateurs pour haute tension et grande intensité.

AVIS

« ***Interrupteur automatique*** pour transformateurs, système **Schlatter**. Brevet Schlatter n° 269 017. L'inventeur offre de céder son brevet ou de concéder des licences d'exploitation. »

S'adresser à M. J. Delage, Ingénieur-Conseil, *90, boulevard Richard-Lenoir, Paris.*

Les 695e, 696e, 697e et 698e livraisons de la ***Grande Encyclopédie*** viennent de paraître

Prix de la livraison : 1 franc.

Demander à la Direction, 61, rue de Rennes, un spécimen de l'ouvrage envoyé franco.

OFFRE DE REPRÉSENTATION

Une des plus importantes fabriques de machines de l'Allemagne, figurant à l'Exposition universelle, donnerait sa représentation pour la France à ingénieur civil ou fabrique de machines. Spécialité : construction de grosses machines à vapeur de tous types, spécialement pour installations électrique.

S'adresser au Journal (n° 528).

Adjudication de tramways et de l'éclairage électrique de Philippopoli. — Le consul de France à Philippopoli fait connaître que la municipalité de Philippopoli se propose de mettre en adjudication l'éclairage de cette ville par l'électricité, ainsi que l'établissement de tramways électriques desservant la ville et une localité voisine éloignée de 19 kilomètres.

Les concurrents devront déposer leurs offres avant le 5 novembre prochain.

